

기후변화와 탄소중립

Climate Change and Carbon Neutrality

발간등록번호

11-1480745-000002-09

기후변화와 탄소중립

Climate Change and Carbon Neutrality

2024 AUTUMN

VOL.27



환경부
온실가스종합정보센터

기후변화와 탄소중립

Climate Change and Carbon Neutrality



환경부
온실가스종합정보센터

기후변화와 탄소중립

Climate Change and Carbon Neutrality

발행일 2024년 9월 30일

발행처 온실가스종합정보센터 [www.gir.go.kr](#)
충청북도 청주시 흥덕구 오송읍 오송생명로 210, 오송스퀘어 빌딩 2, 3층
Tel. 043-714-7512 Fax. 043-714-7510

디자인 (주)더블루랩

Climate Change and Carbon Neutrality 2024 Autumn Vol.27

Greenhouse Gas Inventory and Research Center of Korea

기고안내

「기후변화와 탄소중립」은 여러분의 원고를 받습니다.
탄소중립 사회로 전환에 앞장서는 온실가스종합정보센터는
「기후변화와 탄소중립」을 통해 국내외 최신 연구 동향을 제공합니다.
온실가스 감축 및 기후변화 대응 관련 여러분의 많은 기고를 바랍니다.
기획총괄팀 윤소영 전문연구원(043-714-7512)

- 본지에 게재된 내용은 센터의 공식 견해가 아님을 밝힙니다.
- 본지에 게재된 글과 사진을 센터와 사전협의 없이 무단 복제하거나 게재할 수 없습니다.

Contents

04

발간사

정은해 | 온실가스종합정보센터장

08

유엔기후변화협약(UNFCCC)의 온실가스 인벤토리 관리

김승도 | 한림대학교 환경생명공학과 명예교수

20

국가 온실가스 통계 산정기준 개정 주요 내용과 의의

최형욱 | 온실가스종합정보센터 정보관리팀장

이소향 | 온실가스종합정보센터 연구관

김소현·이혜철·민경서 | 온실가스종합정보센터 전문연구원

34

에너지밸런스 개정과 에너지 분야 국가 온실가스 인벤토리 산정

손인성·이보혜 | 에너지경제연구원 연구위원

48

오존층 파괴물질(ODS) 대체물질 사용 분야 인벤토리 개정 관련주요 이슈

김대욱 | 온실가스종합정보센터 연구사



발간사

정은해 센터장

환경부 온실가스종합정보센터

2035 NDC 수립 등 온실가스종합정보센터가 맡은 역할을 책임 있게 수행하기 위해 노력하겠습니다.

계절상으로는 가을의 문턱을 넘어섰지만, 무더위는 좀처럼 꺾일 줄 모르고 있습니다. 예년에 비해 폭염이 장기화되면서, 그에 따라 지구의 온도는 높아지고 있습니다. 안토니우 구테흐스 유엔(UN) 사무총장은 지난해 7월 “우리는 지구가 끓어오르는 시대(The Era of Global Boiling)에 살고 있다”고 경종을 울리기도 했습니다.

‘끓어오르는(Boiling)’을 마치 증명이라도 하듯 우리는 극심한 폭염을 겪고 있습니다. 2015년 프랑스 파리에서 세계 195개국은 지구의 평균온도 상승폭을 산업화 이전 대비 1.5℃ 이내로 제한하자고 약속했으나 지구는 지난해 이미 1.45℃를 넘었습니다. 지구온난화에 엘니뇨 현상까지 겹친 탓에 올해는 이상 고온이 한층 더 심화되었습니다.

그동안 우리나라는 국가 온실가스 감축목표(NDC)를 상향하고, 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획을 수립하는 등 구체적인 실행방안을 마련하여 탄소중립 달성을 위해 노력해 오고 있습니다.

그 노력에 따른 결실로 우리나라 온실가스 배출량 감소를 점진적으로 이끌어내고 있습니다. 환경부 온실가스종합정보센터는 2023년 국가 온실가스 배출량이 전년 대비 2860만 톤(4.4%)이 감소된 것으로 잠정 분석하였습니다. 이러한 감소 추세는 지난해 7월 온실가스 종합정보센터가 공개한 2022년 잠정배출량에 이어 2년 연속 이어지는 것입니다.



긍정적인 신호 속에서 이번 27호 저널에는 이러한 대내·외적 흐름과 온실가스종합정보센터의 역할을 담았습니다. 이 과정에서 올해 국제사회에 처음으로 제출하게 되는 2006 지침을 활용한 국가인벤토리 보고서의 의미를 분석해 주신 한림대학교 김승도 교수님, 국제기준과 우리나라 에너지 수급 현황을 반영하기 위하여 개정된 에너지 수급통계 작성지침(에너지밸런스)과 이에 따른 국가 인벤토리 분석의 특징을 담아주신 에너지경제연구원 손인성·이보혜 연구위원님에게 감사드립니다. 또한 국가 온실가스 통계 산정기준 개정 주요 내용을 심도 있게 분석한 최형욱 정보관리팀장, 이소향 연구관, 김소현, 이혜철, 민경서 전문연구원과 오존층과기물질 대체물질 사용분야 인벤토리 개정 관련 실무를 담당하며 상세하게 분석하고 앞으로의 방향까지 잘 제시해 준 김대욱 연구사에게도 깊이 감사드립니다.

온실가스종합정보센터는 2035년 NDC 수립을 위한 기술검토와 BTR 작성으로 그 어느 때보다 바쁜 가을과 겨울을 보낼 듯합니다. 이 과정에서 우리나라 온실가스 통계의 국제적 위상 제고와 2050 탄소중립 달성을 위한 중요한 경로로서의 2035 NDC 수립 등 온실가스종합정보센터가 맡은 역할을 책임 있게 수행하기 위해 노력하겠습니다. 감사합니다.

환경부 온실가스종합정보센터장 정은혜



유엔기후변화협약(UNFCCC)의 온실가스 인벤토리 관리

김승도

한림대학교 환경생명공학과 명예교수

I. 서론

유엔기후변화협약(UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change, 이하 협약) 제21차 당사국총회(COP, Conference of Parties)에서 채택된 파리협정은 온실가스 감축 측면에서 몇 가지 주목할 점이 있다. 첫째, 모든 당사국이 온실가스 감축에 동참하고, 둘째, 감축목표는 당사국이 자발적으로 제시하고, 셋째, 투명성과 유연성을 강조한 점, 넷째, 진전의 원칙이다.

온실가스 감축의무를 확인하기 위해서는 기준점(Reference Point)과 목표점(Target Point)의 온실가스 인벤토리를 비교해야 한다. 그러므로, 감축량의 근거 자료인 인벤토리 관리가 중요하고, 이를 비교 평가하기 위한 공정한 잣대가 필요하다. 이를 위해 UNFCCC에서는 측정·보고·검증(MRV, Measurement·Reporting·Verification) 체계를 도입하였다. 따라서 UNFCCC는 온실가스 인벤토리의 산정·보고 회계 규칙(Accounting Rule)을 정하고, 제삼자가 인벤토리를 검토·승인하는 과정과 체계를 마련하였다.

UNFCCC는 당사국의 역량 차이로 비교할 수 있는 온실가스 인벤토리의 결과가 도출하기 어렵다는 문제를 인식하여 배출원·흡수원별로 각국의 산정 역량에 맞는 온실가스 인벤토리 산정 방법을 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change)의 산정 지침에 따라 선정·적용토록 권고하였다. 또한, 검토 체계와 방법도 협약의 부속서 I 국가(선진국)와 협약의 비부속서 I 국가(개도국)를 차별화한 이원화 체계를 적용하였다. 일견으론 “차별적 공동책임(CBDR, Common But Differentiated Responsibilities)” 원칙에 부합하고, 합리적 접근이라고 여길 수 있다. 그러나, 각국의 온실가스 인벤토리 산정 역량에 따라 다른 산정 방법을 적용함으로써 인해 발생하는 문제점은 간과하였다. 즉, 같은 배출량이 예상되는 배출원의 배출량 및 감축량 결과가 달라지는 현실적 문제가 생겼다. 특히 파리협정에서 국외감축결과(ITMOs, Internationally Transferred Mitigation Outcomes)에 참여하는 선진국과 개도국의 감축량과 인벤토리의 비교가능성이 중요해졌다. 그러나, 비교가능성의 문제를 안고 있는 현재의 인벤토리 산정 방식은 모든 당사국이 감축에 참여하는 파리협정의 근간을 흔드는 문제라고 할 수 있다.

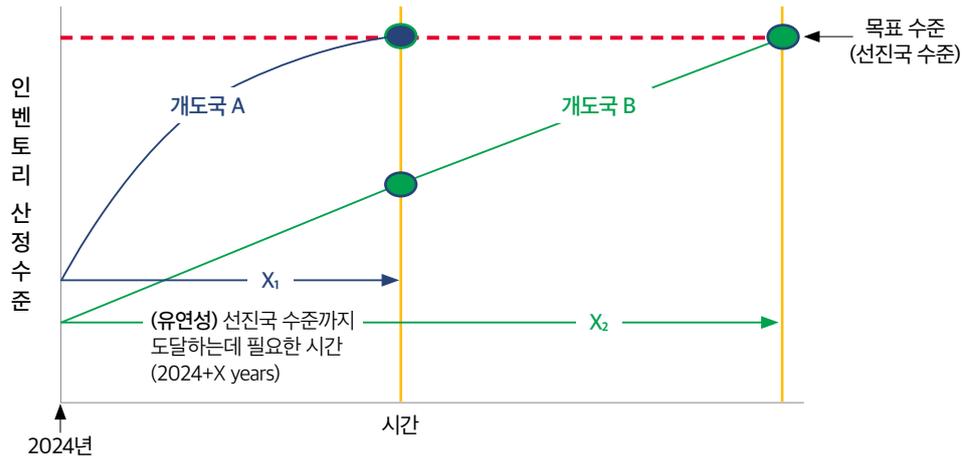
파리협정에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 그동안의 이원화 MRV 체계에서 벗어나 통합 형태의 “강화된 투명성 체계(ETF, Enhanced Transparency Framework)”를 마련하였다. ETF는 파리협정 제13조 1항에서 언급한 것처럼 “상호 신뢰와 확신을 구축하고 효과적 이행을 촉진하기 위하여, 당사자의 상이한 역량을 고려하고, 공동의 경험을 비롯한 유연성을 내재하고 있는, 행동 및 지원을 위하여 강화된 투명성위크를 설립한다”는 취지임을 언급하고 있다. ETF의 핵심은 모든 당사국을 하나의 MRV 체계인 ETF에서 관리하며, 투명성과 유연성을 강조하였다. 그러나, ETF를 이행할 때 개도국 역량을 고려하여 유연성을 부여한다는 점은 추상적 개념으로 좀 더 구체적 실행 방안 마련이 필요하다.

[그림 1]은 개도국의 역량 강화를 통해 인벤토리 수준을 끌어올려 목표 수준까지 도달하기 위한 경로를 모식화하였고, 국가별로 유연성의 차별화를 둘 수 있다.¹⁾ 그러나, 파리협정에서 모든 개도국의 인벤토리 수준을 원

1) <그림 1>에서 개도국 A는 유연성 기간이 X₁년이고 개도국 B는 X₂년

하는 수준까지 높일 수는 없더라도 ETF를 통해 투명성이 확보된다면 당사국의 국가 온실가스 감축목표(NDC, Nationally Determined Contribution)에서 제시한 감축경로와 감축목표의 달성 여부는 확인할 수 있으리라 기대하고 있다.

<그림1> 개도국의 인벤토리 산정 수준 제고 모식도



파리협정의 결정문 18/CAM.1에 근거하여 모든 당사국은 2024년 12월 31일까지 국가 인벤토리 보고서(NIR, National Inventory Report)를 격년투명성보고서(BTR, Biennial Transparency Report)와 함께 제출해야 한다. 그동안 협약의 부속서 I 국가는 국가보고서(NC, National Communication), 격년보고서(BR, Biennial Report), NIR을 제출한 경험이 있어, 파리협정 하의 NIR을 제출하는 데 어려움이 없다. 반면에 우리나라를 포함한 협약의 비부속서 I 국가는 NC와 격년갱신보고서(BUR, Biennial Update Report)에서 인벤토리를 정리·보고하는 수준이고, 전문가 검토도 체계적으로 이뤄지지 않았다. 그러므로, 개도국은 NIR을 제출하는데 상당한 부담을 느끼고, 어느 수준까지 인벤토리를 산정·제출할지 혼란을 겪고 있다.

우리나라는 그동안 자체적으로 NIR을 작성해 왔고, 온실가스종합정보센터(GIR, Greenhouse Gas Inventory and Research Center)를 중심으로 인벤토리 개선 노력을 꾸준히 경주해 왔다. GIR은 세계에서 찾기 어려운 온실가스 인벤토리와 감축 전문기관으로 타 국가의 모범사례로 꼽히고 있다. 그럼에도 독립 NIR을 UNFCCC에 제출하고, 검토받은 경험이 없어 ‘어느 수준까지’ 또한 ‘어떻게 작성해야’ 하는지에 대한 고민이 깊다. NIR은 기본적으로 UNFCCC 기준에 따라 작성해야 한다. UNFCCC의 기준이란 파리협정 제13조의 투명성 체계의 세부이행규칙(MPGs, Modalities, Procedures, and Guidelines)을 의미한다.

본 글에서는 UNFCCC에서 어떻게 온실가스 인벤토리를 관리하는지 살펴보고, NIR 작성 대응 방향을 제시하여 우리나라의 NIR을 준비하는 데 도움이 되고자 한다.

II. 본론

1. 온실가스 인벤토리 정의 및 원칙

인벤토리의 사전적 의미는 물품, 재산 등의 세부 목록을 의미하며, 온실가스 인벤토리는 “온실가스 배출원 및 온실가스 흡수원 목록과 이들로부터 정량화된 온실가스 배출 및 온실가스 흡수의 수치”로 정의하고 있다. 또는 “조직 경계 내에서 온실가스 배출원과 흡수원을 규명하고, 배출원과 흡수원으로부터 배출 또는 흡수되는 온실가스 양을 파악·목록한 결과”로 정의할 수 있다. 일부에서는 온실가스 배출 통계라는 표현을 사용하나, 통계는 불확실성을 다루는 도구로서, 자료를 수집 분석하고 요약·해석하는 과정이다. 그러므로, 국가 온실가스 배출 통계보다는 국가 온실가스 인벤토리로 수정·사용을 검토할 필요가 있다.

UNFCCC의 인벤토리 산정·보고 원칙은 소위 TACCC로 알려진 1) 투명성(Transparency), 2) 정확성(Accuracy), 3) 일관성(Consistency), 4) 비교가능성(Comparability), 5) 완전성(Completeness)이다.

<표 1> UNFCCC의 온실가스 산정·보고 원칙

원칙	UNFCCC 보고 지침	온실가스종합정보센터
투명성 (Transparency)	Assumptions and methodologies used for an inventory should be clearly explained, in order to facilitate the replication and assessment of the inventory by users of the reported information.	인벤토리를 위한 추정과 방법론이 투명하게 설명이 되어야 하며, 보도된 자료를 토대로 제3자가 재계산이 가능해야 한다. 따라서, 데이터의 출처 및 예측, 방법론이 명확히 문서화되고, 일반적인 방법과 보고 방식을 사용하는 것을 의미한다.
정확성 (Accuracy)	Emissions and removal estimates should be accurate in the sense that they are systematically neither over nor under true emissions or removals, as far as can be judges, and the uncertainties are reduced as far as practicable.	배출량과 감축량에 대한 불확실성을 줄여서 산정된 배출량이 실제 배출량과 근접하여야 한다는 것을 의미한다.
일관성 (Consistency)	An annual GHG inventory should be internally consistent for all reported years in all its elements across sectors, categories and gases. An inventory is consistent if the same methodologies are used for the base and all subsequent years and if consistent data sets are used to estimate emissions or removals from sources or sinks.	배출량 및 흡수량의 산정이 동일한 방법론으로 적용하여 시계열적인 비교가 가능해야 한다. 즉 베이스라인 배출량의 데이터와 감축량의 데이터가 모두 동일한 방식으로 수집되고 보고되어야 하는 것을 의미한다.
비교가능성 (Comparability)	Estimates of emissions and removals reported by Annex I Parties in inventories should be comparable among Annex I Parties. Estimates of emissions and removals reported by Annex I Parties in their inventories should use the methodologies and formats agreed by the COP for making estimations and reporting their inventories.	온실가스 인벤토리가 당사국 간 비교가 가능하여야 한다는 것을 의미한다. 즉 부문별 분류 및 산정방법 등이 국제적인 기준에 맞추어 동일하게 진행되어야 한다는 것을 의미한다.
완전성 (Completeness)	An inventory covers all sources and sinks, as well as all gases, included in the IPCC Guidelines as well as other existing relevant source/sink categories which are specific to a Party. Completeness also means full geographic coverage of sources and sinks of a Party. Where elements are missing their absence should be clearly documented together with a justification for exclusion.	IPCC 온실가스 배출량 산정 지침에서 규정한 배출원/흡수원뿐만 아니라 IPCC 지침에서 규정하지 않은 특정 국가의 고유 배출원/흡수원의 온실가스 배출량과 흡수량도 빠뜨리지 않고 산정·보고해야 하며, 개별 국가의 지리적 범위도 누락 하지 않고 모두 포함해서 산정·보고해야 한다. 산정에서 제외할 경우, 사유를 명확하게 기술하여야 한다.

대다수가 온실가스 인벤토리 하면 숫자를 다루므로 ‘정확성’이 가장 중요하다고 생각한다. 현존하는 측정 기술 중 최고의 기술을 택해 온실가스 배출량을 측정하는 것이 가장 정확하다. 그러나, 모든 배출원으로부터 배출량을 측정하기는 불가능하다.²⁾ 따라서 대부분은 계산법과 상향식 방법을 적용하여 배출량을 산정하며, 그 정확성 지표로 IPCC는 ‘불확도’를 활용하고 있다. 그러나, 어느 정도 불확도를 가져야 한다는 등의 지침과 기준이 없어 불확도는 참고 자료로 활용하고 있다.

만약 UNFCCC에서 가장 정확하다고 여겨지는 산정 방법 하나만을 제시하고, 모든 국가가 그 방법을 사용한다면, 모든 당사국의 인벤토리를 상호 비교하고 평가하기는 쉬워진다. 그러나, UNFCCC는 IPCC 지침에서 산정 수준이 다른 세 가지 방법(Tier 1, 2, 3)을 배출원과 흡수원별로 제시하였고, 그중에서 국가 역량에 적합한 산정 방법의 선정·사용을 권고하고 있다. 이에 따라 모든 당사국 인벤토리의 비교 평가는 불가능하고, 산정 역량이 비슷한 국가 간의 인벤토리만 비교할 수 있다. 그러므로, UNFCCC의 ‘비교가능성’ 원칙은 제한적임을 인식해야 한다.

또 다른 중요한 원칙은 ‘투명성’이다. 투명성의 현실적 기준은 ‘인벤토리 작성에 참여하지 않은 제삼자가 인벤토리 보고서만을 보고, 인벤토리 결과를 재현 가능’해야 한다. 투명성은 다른 원칙(정확성, 비교가능성, 일관성, 완전성)과도 연계되어 있어 UNFCCC에서 가장 강조하는 기본 원칙이다.

‘일관성’은 기준년도인 1990년부터 인벤토리를 보고하므로, 시계열적 일관성이 중요하고, 산정 방법과 인벤토리 산정에 활용하는 자료가 보고 연도 기간에 일관되어야 함을 의미한다. 예를 들어, 결측 활동자료의 추정 방법이 기간에 따라 달라지면 일관성에 어긋난다. 또한, 최근에 인벤토리 산정 관련 신뢰도 높은 새로운 Database(이하 DB)를 개발하였으나, 개발 이전 시기에는 관련 자료 확보가 불가능해 신규 DB의 적용이 불가능한 경우도 존재한다. 그렇다 하더라도, UNFCCC는 일관성 원칙에 따라 개발 이전 시기의 DB를 통계 기법을 활용하여 추정토록 요구한다.

‘완전성’은 특정 국가에 존재하는 모든 배출원과 흡수원의 배출량과 흡수량을 빠뜨리지 않고 보고해야 한다는 원칙이다. 배출량 또는 흡수량을 산정하지 못한 경우는 ‘NE(Not estimated)’라고 명기하고, 향후 산정계획을 제시해야 한다.

2. UNFCCC의 온실가스 인벤토리 관리

협약의 제4조와 제12조에 의해 모든 당사국은 CBDR 원칙에 근거하여 비교 가능한 방법론(Comparable Methodologies)에 따라 온실가스의 인벤토리를 준비·제출토록 요구하고 있다. 여기서 주목해야 할 점은 CBDR과 비교 가능한 방법론에 따라 인벤토리를 준비·제출하라는 것이다. CBDR은 국가별로 산정 역량을 판단하여 적합한 산정 방법을 선정·적용하라는 의미이고, 비교 가능한 방법론의 적용은 인벤토리 결과를 국가 간에 비교할 수 있어야 함을 뜻한다. 동일 배출원과 흡수원에 대해 다른 산정 방법을 적용하게 되면 그 결과는 다르고, 국가 간 인벤토리는 비교가능하지 않아, 서로가 모순된다. 그러므로, 비교 가능한 방법론의 적용은 산

2) 예를 들어, 전 세계 모든 차량의 온실가스 배출량을 측정하는 것은 현실적으로 불가능

정 역량이 유사한 국가는 같은 산정 방법을 선정·적용하므로 서로 비교 가능하다는 의미로 받아들일 수 있다.

UNFCCC는 온실가스 인벤토리를 MRV 측면에서 관리하였다. UNFCCC 차원에서의 MRV라는 용어는 2007년 개최된 COP13의 발리행동계획(BAP, Bali Action Plan)에서 처음으로 사용하였다. MRV는 측정, 보고, 검증의 합성어로 각 활동의 정의와 목적은 다음과 같이 정리할 수 있다.

<표 2> MRV 요소인 측정·보고·검증의 정의 및 목적

MRV 요소	정의	목적
측정	특정 활동에 대한 자료와 정보의 결정으로 정의	온실가스 인벤토리 산정 주체의 역량 범위 내에서 가장 정확하게 온실가스 배출량과 흡수량을 산정하는 데 있음
보고	특정 활동에 대한 정보를 취합하고, 이를 표준화된 양식에 따라 작성하여 관련 기관에 보고하며, 일반인에게도 공개하는 활동으로 정의	온실가스 인벤토리 관련 자료 확보를 통해 관리 근거로 활용하는 데 있음
검증	일정 규정에 준해 산정·보고된 정보의 투명성, 정확성, 일관성, 비교가능성, 완전성을 파악하기 위해 관련 정보를 제삼자에게 제공하여 검토 분석하도록 하는 활동으로 정의	검증 대상(인벤토리, 감축량 등)이 산정·보고 원칙과 규정에 준해 산정 및 보고가 이뤄졌는지를 확인하여 검증 결과가 대내·외적으로 객관성과 공인성을 확보하도록 하는 데 있음

UNFCCC에서는 MRV를 “협약에 의해 준수해야 할 행동³⁾의 이행이 국제적 검증을 거치는 과정이며, COP에서 승인한 지침에 기반하여 그 과정이 수행되었는지를 보고 및 검증하는 활동”으로 정의하고 있다. 국제지속개발연구원(IISD, International Institute for Sustainable Development)(2012)은 UNFCCC MRV를 “UNFCCC에서 요구하는 정보에 대해 당사국이 규정에 따라 UNFCCC에 보고하고, 그 제공된 정보가 당사국의 의무 사항을 충족하는지 여부를 점검하고, 평가하는 과정”으로 정의한다. 또한, MRV를 통해서 제공된 정보의 투명성과 정확성에 대한 평가가 가능해지고, 국제간 협력과 신뢰 구축의 기반이 된다고 언급하고 있다.

MRV에서 ‘M’의 ‘Measurement’를 직역한다면 ‘측정’이나, 일반적으로 측정은 계측기 또는 분석을 통해 배출량 또는 흡수량을 결정하는 방식을 연상할 수 있다. 그러나 현재 온실가스 배출량 및 감축량은 대부분 계산하여 결정하고 있어, 국내 전문가들 사이에서는 측정 대신에 산정이란 용어를 사용하는 경우도 있다. UNFCCC는 CBDR에 따라, 국가 역량에 부합하는 산정 방법을 IPCC에서 제시한 의사 결정도(Decision Tree)를 적용하여 선정·적용토록 하였다. 이외에도 IPCC는 특정 국가의 온실가스 배출 특성을 반영하는 국가 고유방법의 개발·적용을 권고하고 있다. 다양한 산정 방법의 존재로 인벤토리를 관리하는 UNFCCC 입장에서는 비교가능성 측면에서 어려움이 있다.

MRV에서 ‘R’은 Reporting(보고)으로 EU ETS의 항공 분야 MRV 지침(2008)에서는 보고에 대해 “어떤 정보가 담긴 자료를 어떤 양식에 따라 어떻게 보고해야 하는가?(How data should be reported, what information must be included and in what format)”로 정의하고 있다.⁴⁾ UNFCCC 사무국은 보고 지침을 개발·제시

3) 감축, 적응, 역량배양 등 UNFCCC의 주요 활동과 관련된 행동

4) IPCC 지침에서는 계산법으로 온실가스 배출량 및 흡수량을 대부분 결정하고 있어 측정보다는 산정이라는 표현이 더 적절함.

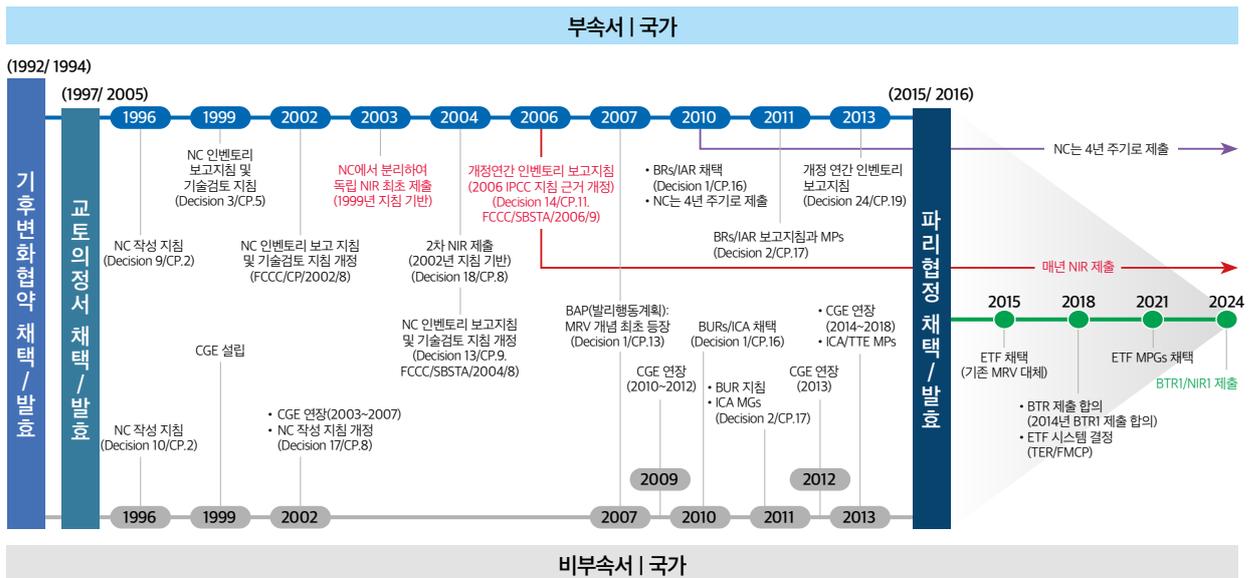
하였고, 당사국은 그 지침에 준하여 인벤토리를 보고 하고 있다.

MRV에서 ‘V’는 Verification(검증)으로, 마라케시 합의문의 교토의정서 시장 메커니즘 조항에서 처음으로 검증이란 용어를 사용하였다. 인벤토리의 검증과 검토의 활동은 동일하나, 검증은 인벤토리 결과에 대해 검증자가 법적인 책임을 지지만, 검토는 전문가적 책임을 진다. UNFCCC의 등록된 인벤토리 검토 전문가는 검토 결과에 대해 법적 책임은 지지 않는다. 그러므로, UNFCCC의 국가 인벤토리의 조사·분석·점검 활동은 검토가 적합한 용어이다. 실제로 UNFCCC의 국가 인벤토리 담당팀은 검증(Verification)이란 표현 대신 검토를 사용한다. 그러나, MRV라는 용어가 교토체제의 탄소시장에서 보편적으로 사용되어 MRV를 사용한다고 여겨진다.

BAP에서는 CBDR에 근거하여 MRV 적용에서도 부속서 I 국가와 비부속서 I 국가를 구분하였다. 부속서 I 국가는 감축목표 달성을 위한 국내 감축 이행과 감축 행동이 측정 가능, 보고 가능, 검증 가능해야 한다고 언급하고 있다. 부속서 I 국가 대상 MRV는 국가별 특성 차이를 고려하면서 국가 간의 감축 이행과 행동의 비교가능성을 중점적으로 검토하는데 목표를 두고 있다.⁵⁾ 반면에 비부속서 I 국가는 외부로부터 기술·재정·역량배양 지원으로 수행된 감축 활동은 측정 가능, 보고 가능, 검증 가능해야 한다고 규정하고 있다. 비부속서 I 국가에 대해서는 역량배양에 더 방점을 두고 있어, 외부 지원이 없는 자체 감축 활동에 대해서는 느슨하게 관리하였다. BAP에서 부속서 I 국가와 비부속서 I 국가에 다른 MRV를 적용하는 소위 이원화 MRV 체계가 공식화되었다.

[그림 2]는 부속서 I 국가와 비부속서 I 국가의 온실가스 인벤토리 관리의 변천 과정을 도시하고 있다. 부속서 I 국가의 인벤토리 관리의 변화 과정은 MRV 관점에서 4단계로 구분할 수 있다. 1) (1단계) NC에 포함되어 인벤토리를 관리하는 시기(1994~2002년), 2) (2단계) 독립 보고서인 NIR의 MRV 시기(2003년 이후), 3) (3단계) BR과 BUR의 다자평가 MRV 시기(2014~2022년), 4) (4단계) 파리협정의 ETF 시기(2024년 이후)이다.

<그림 2> UNFCCC의 인벤토리 관리 방법의 변화



CGE: Consultative Group of Experts, TER: Technical Expert Review, FMCP: Facilitative, Multilateral Consideration of Progress
 IAR : International Assessment & Review, TTE : Team of Technical Expert

5) 동일 감축활동에 대해 동일 감축량이 산정되어야 한다는 원칙

협약 제12조 1항에서 모든 당사국이 NC에 인벤토리를 포함해서 보고토록 요구하고 있다. 1단계 시기에는 UNFCCC에 제출하는 유일한 보고서가 NC⁶⁾이며, NC에 인벤토리를 포함·보고하였으나, 완성도 높은 지침이 없어 보고 검토 과정의 혼선이 있었다. 비로소 1999년의 COP5에서 부속서 I 국가 대상 NC 인벤토리 보고 지침⁷⁾과 기술 검토 지침⁸⁾이 나오면서 인벤토리 보고와 검토 체계가 확립되었다⁹⁾. COP5에서 부속서 I 국가는 2000년부터 매년 4월 15일까지 NIR과 CRF의 제출을 결정하였다. 1단계에서는 비록 부속서 I 국가로 한정하긴 했으나, 독립 NIR과 CRF 제출의 틀을 마련했다는 점에서 의의가 있다.

2단계에서 부속서 I 국가는 독립 NIR과 CRF를 매년 제출하기 시작하였고, 전문가 검토팀(ERT, Expert Review Team)에 의해 NIR과 CRF의 검토가 이뤄졌다. 검토의 목적은 인벤토리의 신뢰도 진단 평가 이외에도 주요 목적 중의 하나는 부속서 I 국가의 인벤토리 산정 역량을 제고하는 데 있었다. 그러므로, 이 시기에 부속서 I 국가의 인벤토리 산정 역량은 크게 상승하였다.

3단계는 COP16의 결정문 1/CP.16에 의해 BR을 제출하고, 검토 과정은 소위 국제 평가 및 검토(IAR, International Assessment & Review)를 통해 기존의 ERT에 의한 검토 이후에 촉진적·다자적 검토를 최초로 수행하였다. 다자 평가는 공개 방식으로 진행하여, 부속서 I 국가의 감축 활동과 인벤토리를 공개적으로 비교 검토할 수 있어 비교가능성과 투명성을 제고하였다. BR은 2022년의 5차 보고서 제출을 끝으로 역사 속으로 사라졌고, BTR로 대체되었다.

4단계는 파리협정에 의해 그동안의 선진국과 개도국을 이원화 MRV 체계에서 벗어나 통합된 형태의“ETF”를 마련하였다. 파리협정 제13조 7a항에 의해 모든 당사국은 NIR을 제출하고, ETF는 IAR과 유사한 두 단계 검토 체계인 1) 기술전문가 검토(TER, Technical Expert Review)와 2) 진전에 대한 촉진적·다자적 검토(FMCP, Facilitative, Multilateral Consideration of Progress)를 받도록 구성되어 있다¹⁰⁾.

반면에 UNFCCC는 개도국에 대해서는 인벤토리 산정 역량을 높이는 데 집중해 왔다. 전문가 자문그룹(CG, Consultative Group of Experts)을 구성하여 개도국의 NC 작성을 꾸준히 지원해 왔다. BUR에서도 역량 강화는 지속되었고, 다자 검토 과정인 국제적 협의 및 분석(ICA, International Consultation & Analysis)을 적용하였다. ICA는 기술전문가팀(TTE, Team of Technical Expert)에 의한 검토와 역량 강화, 그리고 공개된 형태의 촉진적 경험 공유(FSV, Facilitative Sharing of View)를 수행해 왔다. ICA는 개도국의 인벤토리와 감축 정책 수립·추진 관련되어 역량 강화가 필요한 부분을 확인·지원하는 역할을 담당했다.

파리협정에서는 개도국도 선진국과 동일 ETF에 의해 인벤토리 관리를 받게 되었다. 그러나, 개도국에 대해서는 TER의 주요 역할이 검토 이외에 역량 배양이다¹⁰⁾. 즉, 개도국의 역량 강화를 통해 BTR과 NIR의 투명성을 제고하여 NDC의 감축목표 달성 여부를 확인하는 데 있다. 또한 이러한 개도국 역량 강화는 UNFCCC 단독으로 달성하기 어려워 선진국의 지원과 역할도 필요하다고 여겨진다.

6) 부속서 I 국가는 1차 NC를 1994년에 제출, 비부속서 I 국가는 1997년부터 제출

7) 결정문 3/CP.5

8) 결정문 6/CP.5

9) 지침의 부속서에 보고 양식(CRF, Common Reporting Format)도 제공

10) 파리협정 제13조 11항

<표 3> 부속서 I 국가와 비부속서 I 국가의 MRV 요소 비교

MRV 요소	부속서 I 국가	비부속서 I 국가
측정 (산정)	IPCC 온실가스 인벤토리 산정 지침	IPCC 온실가스 인벤토리 산정 지침
보고	<ul style="list-style-type: none"> • NC; 4년 주기로 제출 • NIR; 매년 제출 • BR; 2년 주기로 제출(2022년에 최종본 제출) • BTR(NIR 포함); 2024년부터 2년 주기로 제출 	<ul style="list-style-type: none"> • NC; 4년 주기로 제출 • BUR; 2년 주기로 제출(2024년에 최종본 제출) • BTR(NIR 포함); 2024년부터 2년 주기로 제출
검토 (검증)	<ul style="list-style-type: none"> • NC; ERT 검토 • NIR; ERT 검토 • BR; 'IAR'로 1) ERT 검토 2) 공개 방식의 다자 평가 • BTR(NIR 포함); (1단계) TER에 의한 검토 (2단계) 공개 방식에 의한 FMCP 	<ul style="list-style-type: none"> • NC; 검토라기보다는 CGE에 의한 역량 배양 • BUR; 'ICA'로 1) TTE에 의한 분석 2) 공개 방식의 FSV • BTR(NIR 포함); 2024년부터 2년 주기로 제출
	<ul style="list-style-type: none"> • BTR(NIR 포함); (1단계) TER에 의한 검토¹¹⁾ (2단계) 공개 방식에 의한 FMCP 	

III. 결론 및 제언

파리협정은 다양한 유형의 감축목표를 제시한 당사국 NDC의 감축경로 추적과 목표 달성을 점검하기 위해 그동안의 MRV 체계에서 ETF 체계로 전환하면서, BTR과 NIR의 투명성을 강조하고 있다. 투명성이 확보되면 감축경로와 감축목표 달성 확인이 가능하고, 어느 분야에서 문제가 있고 지원이 필요한지도 알 수 있다. UNFCCC는 감축량 확인의 주요 정보인 인벤토리 관리의 중요성을 지속해서 강조하였고, MRV 체계를 발전시켜 왔다.

파리협정 이전에는 역량 차이를 고려하여, 선진국과 개도국을 구분한 이원화 MRV 체계를 적용해 왔다. 개도국은 CGE를 통해 역량 강화에 초점을 맞추었으며, 감축량과 인벤토리에 대한 체계적이고 심도 있는 검토는 이뤄지지 않았다.

파리협정하에서 모든 당사국의 NDC를 조사 분석하여 감축경로 등을 추적해야 하나, 개도국의 정보 투명성이 낮아 감축경로 추적 등의 어려움이 예상된다. 그러므로, UNFCCC는 개도국에 유연성을 부여하여 일정 기간에 역량을 강화하여 비교가능한 수준까지 높이려고 계획하고 있다.

우리나라도 2024년 12월 31일까지 BTR과 함께 NIR을 제출하고¹²⁾, 2025년에 ETF에 의해 TER 이후, FMCP를 받아야 한다. 우리나라는 NC와 BUR에 요약 형태의 인벤토리를 보고해 왔으나, 이번에 제출할 NIR은 그동안의 인벤토리 보고와 다르게 상세한 내용을 담아야 한다. 우리나라는 그동안 GIR이 국내 MRV 체계를 통해

11) 개도국의 경우, 기술전문가 검토 과정에서 역량 강화가 필요한 부분을 확인·지원하는 역할도 담당

12) 결정문 18/CMA.1에 의해 합의결정

NIR을 관리하고, 발간한 경험이 있어 NIR을 준비하는 데 큰 어려움이 없다고 여겨진다. 또한, 우리나라는 협약의 비부속서 I 국가로 분류되어 첫 번째 NIR에 대해서는 역량배양에 초점을 맞추어 검토가 이뤄지리라 예상된다. 첫 번째 NIR은 의미가 크다. 우리나라 인벤토리의 기본 정보로 보고되고, 이를 기반으로 논의가 이뤄지고, 인벤토리 개선 및 수정이 이뤄지므로, 정부의 인벤토리 개선 계획과 방법을 근간으로 중·장기적 관점에서 첫 번째 NIR 작성이 필요하다.

우리의 궁극적인 목표는 국제적 수준의 NIR을 작성 제출하는 것이고, 이를 위해서는 파리협정 제13조 투명성 체계의 MPGs에 따라 NIR을 준비하면 된다. 그러나, 파리협정의 MPGs는 NIR에 어떠한 내용이 포함되어야 한다는 기본 지침이고, 상세 내용은 당사국에서 판단·기술해야 한다. 그러므로, NIR 작성 관련 기관은 지침에서 제시한 목차별 필수 기술 항목을 확인하고, 각 항목의 내용적 깊이와 범위는 논의를 거쳐 결정해야 한다. NIR 작성의 산정·보고 원칙인 TACCC 관점에서 보고서 내용과 자료를 살펴보고 문제가 없는지 점검해야 한다. 또한, 우수 사례로 판단되는 선진국 NIR을 조사 분석하여 NIR 준비의 시금석으로 활용함이 필요하다. NIR 작성을 위한 제언을 정리하면 다음과 같다.

- **(분야별 NIR 평가)** UNFCCC의 ERT 참여 경력이 있는 전문가 또는 국내 인벤토리 전문가로 검토팀을 구성하여, UNFCCC의 NIR 검토 기준과 TACCC 관점에서 분야별 NIR을 평가하고, 문제점 및 개선 방안을 도출·제시함. 또는 평가위원회를 구성하여 NIR의 추진 상황을 정기적으로 점검·평가하여 NIR의 투명성과 비교가능성을 높임
- **(NIR 개선 목표 설정)** 앞서 도출한 문제점을 개선하기 위한 단기 및 중·장기 개선 목표¹³⁾를 설정함. 실현이 가능한 목표 수립이 필요하고, GIR이 분야별 인벤토리 개선 계획을 토대로, 분야별 관장기관과 논의하되, 선도적으로 개선 목표를 설정할 필요가 있음
- **(인벤토리 개선을 위한 로드맵 개발)** 앞서 도출한 단기 및 중장기 개선 목표와 현재 인벤토리 산정 수준과 비교 평가하여 목표와의 격차를 파악·분석(Gap Analysis)하고, 이를 극복하기 위한 실현 가능한 이행 계획을 수립하고, 이를 토대로 로드맵을 개발함
- **(역량 강화)** GIR을 포함한 국내 인벤토리 전문가는 UNFCCC의 TER 전문가로 등록·활동하여, UNFCCC의 검토 체계와 방법을 습득함으로써 NIR 작성과 UNFCCC 검토에 효과적·효율적으로 대응할 수 있는 역량 강화가 필요함
- **(제삼자 검토 방안 도입)** 현재는 분야별 관장기관에서 NIR을 작성하고, GIR에서 검토하는 방식이나, 다양한 기관에서 NIR을 작성하므로, 분야별 수준 차이 등 보고서 일관성의 문제가 확인됨. 이를 해소하는 방안으로 국내 분야별 인벤토리 전문가에 의한 제삼자 검토 제도의 도입을 제안함. 자문회의 수준을 넘어 UNFCCC의 TER처럼 일정 기간(1~2일)에 전문가들이 모여서 집중적으로 검토·논의하고, 검토 보고서를 제출토록 함
- **(불확도 개선)** 현재 우리나라 NIR의 불확도는 대부분이 IPCC 지침에서 제시한 기본 불확도를 사용하고 있으나, 불확도는 인벤토리의 정확도를 판정하는 지표이므로, 우리나라 배출원과 흡수원의 불확도 요인과 특성을 반영한 고유 불확도 산정이 시급함

13) 가능한 정량 목표

- **(정도관리 및 보증의 보완)** 배출원과 흡수원별로 정교한 ‘고유의 정도관리 및 보증 방법’을 개발·적용하고, 제삼자 검토 방안을 활성화하여 NIR의 투명성, 정확성, 일관성을 개선할 필요가 있음

참고문헌

- 김승도(2011). 온실가스 인벤토리. 녹색성장바로알기. 녹색성장위원회.
- 김승도, 유승연, 임지재, 이재진(2016). 2016년 기후변화협상 대응전략 연구. 환경부.
- 김승도, 유승연, 임지재, 이재진, 심정민, 김사라(2017). 2017년 기후변화협상 대응전략연구. 한국환경정책·평가연구원.
- 산업표준심의회(2019). 온실가스 - 제1부: 온실가스 배출 및 제거의 정량 및 보고를 위한 조직 차원의 사용 규칙 및 지침. KS I ISO 14064-1.
- 우아미, 김아영, 김태윤, 신현우(2018). 신기후체제 하 NDC 달성을 위한 MRV 체계. 녹색기술센터. ISBN 979-11-86271-56-8.
- EU(2008). MRV Guidance for Aviation in the EU ETS. Technical Report.
- IPCC(2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- (2006), Chapter 5 Time Series Consistency. Volume 1 General Guidance and Reporting. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- IISD(2012). Measurement, Reporting and Verification: A Note on the Concept with an Annotated Bibliography. http://www.iisd.org/pdf/2012/mrv_bibliography.pdf.
- Singh. N., Finnegan J., Levin. K.(2016). MRV 101: Understanding Measurement, Reporting, and Verification of Climate Change Mitigation. World Resource Institute. Working Paper.
- UNFCCC(2022). Guidance for operationalizing the modalities, procedures and guidelines for the enhanced transparency framework referred to in Article 13 of the Paris Agreement. 결정문 5/CMA.3. 제28차 당사국총회.
- (2019). Modalities, procedures and guidelines for the transparency framework for action and support referred to in Article 13 of the Paris Agreement. 결정문 18/CMA.1.
- (2017). Training Material for the Preparation of Biennial Update Reports from Non-Annex I Parties: Reporting Mitigation Actions and Their Effects. https://unfccc.int/files/meetings/bonn_nov_2017/application/pdf/handbook.pdf
- (2015). Paris Agreement. 제21차 당사국총회.
- (2013). Guidelines for the preparation of national communications from Parties included in Annex I to the Convention, Part I: UNFCCC reporting guidelines on annual greenhouse gas inventories. 결정문 24/CP.19의 부속서 I(Annex I). 제13차 당사국총회.
- (2011). UNFCCC biennial update reporting guidelines for Parties not included in Annex I to the Convention. 결정문 2/CP.17의 부속서(Annex III). 제17차 당사국총회.
- (2007). Bali Action Plan. 결정문 1/CP.13, 제13차 당사국총회
- (2002). Guidelines for the preparation of national communications from Parties not included in Annex I to the Convention. 결정문 17/CP.8의 부속서(Annex). 제8차 당사국총회.
- (1999). Guidelines for the Preparation of National Communications by Parties including in Annex I to the Convention. Part I: UNFCCC Reporting Guidelines on Annual Inventories. 결정문 3/CP.5
- (1999). Guidelines for the Preparation of National Communications by Parties including in Annex I to the Convention. Part I: UNFCCC Reporting Guidelines on Annual Inventories. Review of the Implementation of Commitment and of Other Provisions of the Convention. FCCC/CP/1999/7.
- (1999). Guidelines for the Technical Review of Greenhouse Gas Inventories from Parties including in Annex I to the Convention. 결정문 6/CP.5
- (1999). Guidelines for the Technical Review of Greenhouse Gas Inventories from Parties including in Annex I to the Convention. Review of the Implementation of Commitment and of Other Provisions of the Convention. FCCC/CP/1999/7.



국가 온실가스 통계 산정기준 개정 주요 내용과 의의

최형욱

온실가스종합정보센터 정보관리팀장

이소향

온실가스종합정보센터 연구관

김소현·이혜철·민경서

온실가스종합정보센터 전문연구원

I. 서론

국제사회는 유엔기후변화협약(UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change) 및 각 하부 조약을 통해 국제적으로 통용되는 온실가스 통계 산정기준을 규정하고 있다. 2021년 이전의 기후변화협약은 선진국을 중심으로 일부 당사국에만 감축 의무를 부여한 교토의정서(Kyoto Protocol, 2008~2020) 체제였으나, 2021년 이후 모든 당사국에 온실가스 감축 의무가 부여되는 파리협정(Paris Agreement) 체제로 전환되면서 국가 온실가스 통계 산정기준에서도 변화가 요구되었다.

파리협정 체제하에서 가장 큰 변화는 당사국이 지켜야 할 국가 온실가스 통계 산정기준이 개정되었다는 점이다. 먼저 온실가스 산정방법을 규정하는 ① 국가 온실가스 통계 산정지침¹⁾과 ② 온실가스 배출량 산정식²⁾에 적용되는 지구온난화지수³⁾가 개정되었다. 그리고 ③ 보고 대상 온실가스가 기존 6종⁴⁾에서 삼불화질소(NF₃)가 추가되어 총 7종⁵⁾으로 확대되었다.

파리협정하에서 당사국이 이행해야 할 세부사항의 경우, 선진국은 교토의정서 체제를 통해 2008년부터 각국의 온실가스 통계에 이미 적용하여, 15여년의 축적된 경험을 바탕으로 온실가스 통계 산정·보고·검증 체계가 전체적인 안정화 단계로 접어들었다고 평가할 수 있다. 반면, 우리나라를 포함한 개발도상국은 기존의 온실가스 통계 산정체계를 전면 개편해야 하는 과제를 안게 되었다. 이에, 정부는 2020년 부처 합동으로 「제2차 국가 온실가스 총괄관리계획(2020~2024)」을 수립하고 파리협정 체제 대응을 위한 국가 온실가스 통계 고도화 전략을 마련하였다. 동 계획은 3대 전략 49개 과제로 구성되어 있으며, 지난 5년간 온실가스종합정보센터와 국내 연구기관을 중심으로 부문별 기초통계 구축, 국가고유 배출계수 확대, 정보시스템 구축 등 기존 온실가스 통계의 정확성과 신뢰성을 높이기 위한 기반을 마련하였다.

금번 국가 온실가스 통계 개정은 국가 온실가스 통계 종합관리체계를 법제화⁶⁾한 2010년 이후 첫 전면 개편으로, 개편 계획 수립 이후 전문가 세미나와 관련 학회 및 저널 등을 통해 지침 개정에 대한 정보 교류와 의견 수렴의 과정을 거쳐 왔다. 본 고에서는 국가 온실가스 통계 개정 원인(①~④)이 온실가스 통계에 미치는 영향과 그 의의에 대해 살펴보고자 한다.

1) Decision 18/CMA.1 Annex, Modalities, procedures and guidelines for the transparency framework for action and support referred to in Article 13 of the Paris Agreement, paragraph 17

2) 온실가스 배출량 = 활동자료 × 배출계수 × 온실가스별 지구온난화지수(예: CH₄ 21 → 28)

3) Decision 18/CMA.1 Annex, Modalities, procedures and guidelines for the transparency framework for action and support referred to in Article 13 of the Paris Agreement, paragraph 37

4) 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF₆)

5) Decision 18/CMA.1 Annex, Modalities, procedures and guidelines for the transparency framework for action and support referred to in Article 13 of the Paris Agreement, paragraph 48

6) 「저탄소 녹색성장 기본법(2010 시행)」으로 현재 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법(2023 시행)」

II. 본론

1. 국가 온실가스 통계 산정 지침 개정(2006 IPCC GL)

기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change)⁷⁾는 전 세계 기후변화 전문가들이 인간 활동에 대한 기후변화의 위험을 평가하고 평가보고서를 작성함으로써 전 세계 기후변화 대응방향 설정을 위한 기초자료를 제공하고 있다. IPCC에서 발간한 대표적인 보고서로는 「기후변화 평가보고서(AR, Assessment Report)」와 국가 온실가스 통계 산정 방법을 규정한「국가 온실가스 인벤토리⁸⁾ 가이드라인(Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories)」을 들 수 있다.

먼저, IPCC에서 발간한 「국가 온실가스 인벤토리 가이드라인」(IPCC GL)의 경우, 1997년 제3차 당사국총회(COP3, 3th Conference of the Parties)를 통해 국가 경계 내에서의 인위적 온실가스에 대한 배출량 및 흡수량을 산정하는 방법을 제시한 1996 IPCC GL이 처음으로 공개되었다. 이후 1996 IPCC GL⁹⁾ 중 일부 배출원의 산정방법을 보완한 두 권의 보충서(GPG 2000¹⁰⁾, GPG LULUCF 2003¹¹⁾)를 공개하였으며, 2006년 IPCC 25차 총회에서는 온실가스 배출원과 흡수원 산정방법에 대한 과학기술 발전 및 기초자료 확보 여건 등의 진전 사항을 반영한 2006 IPCC GL¹²⁾을 발표하였다. 가장 최근에는 IPCC 제49차 총회에서 2006 IPCC GL을 보완한 2019 개선보고서¹³⁾를 공개하였다.

국내 온실가스 통계 산정기준을 살펴보면, 교토의정서 체제하에서 비-의무감축국(non-Annex I)으로 분류된 우리나라는 1996 IPCC GL을 준용하였으며, 활동자료와 배출계수가 확보된 일부 배출·흡수원은 2006 IPCC GL을 적용¹⁴⁾하고 있었다.

우리나라는 2021년부터 시작되는 파리협정 이행 당사국으로써, 모든 당사국에 적용되는 파리협정 이행지침¹⁵⁾ 기준에 따라 국가 온실가스 통계 산정기준을 전면 2006 IPCC GL로 개정하고, 2019 개선보고서에서 제시하고 있는 고도화된 산정방법(상세 활동자료 및 최신 배출계수)의 적용이 가능한 일부 배출원에 한하여 2019 개선보고서상의 산정방법을 적용하였다.¹⁶⁾

7) IPCC는 국제연합(UN, United Nations)의 전문 기관인 세계기상기구(WMO, World Meteorological Organization)와 국제연합 환경계획(UNEP, United Nations Environment Programme)에 의해 1988년 설립된 조직

8) 국제적으로 통용되는 온실가스 인벤토리는 온실가스 배출원·흡수원 목록과 이들로부터 정량화된 온실가스 배출 및 온실가스 흡수량 수치이며, 우리나라에서는 인벤토리와 통계라는 용어를 혼용하고 있음

9) 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories(IPCC, 1997)

10) IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories(2003) : 1996 IPCC GL을 보완하기 위한 목적으로 발간되어, 국가별 상황에 적합한 산정방법의 선택과 불확도 평가에 대한 구체적 방법론을 제시함

11) IPCC Good Practice Guidance for Land use, Land-use Change and Forestry(IPCC, 2003) : GPG 2000에는 포함되지 않은 국가 육상 생태계의 토지 이용 및 토지이용 변화에 따른 온실가스 배출량·흡수량에 대한 산정방법론을 제시함

12) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories(IPCC, 2006)

13) 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories(IPCC, 2019)

14) 2006 IPCC GL을 적용한 세부 배출원 및 흡수원에는 에너지 분야 천연가스 탈루, 산업공정 분야 질산생산, 반도체·액정표시장치 제조 및 충전기기, 농업 분야 비재배 및 농경지 토양, LULUCF 분야 산림지, 습지, 폐기물 분야 기타 부문임

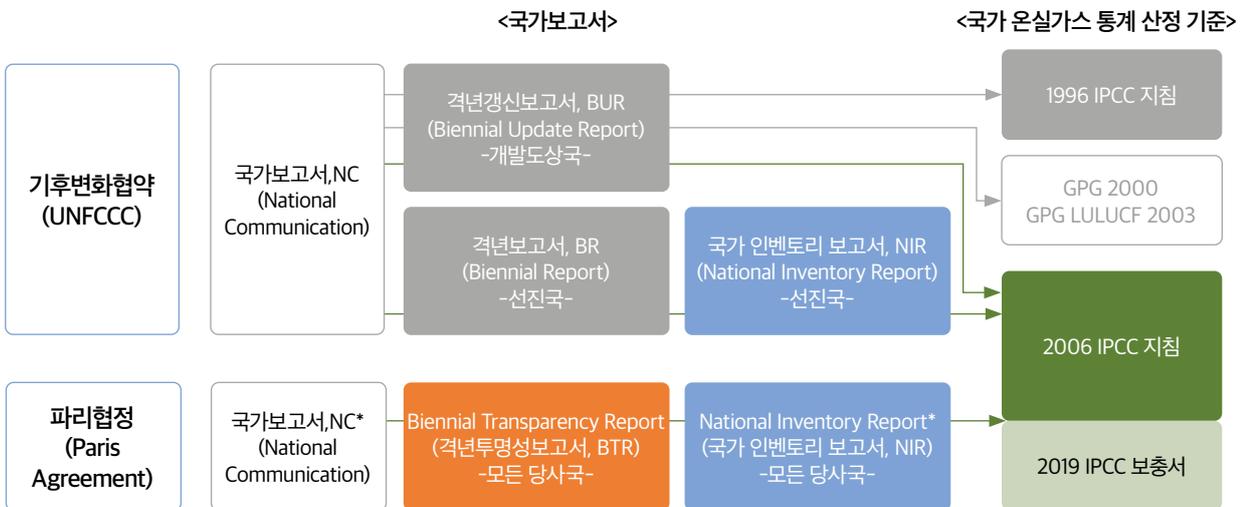
15) Decision 18/CMA.1 Annex, Modalities, procedures and guidelines for the transparency framework for action and support referred to in Article 13 of the Paris Agreement

16) 2019 적용 카테고리 예시: 에너지 분야(지하폐광 탈루), 농업 분야(가축분뇨처리)

<표 1> 기후변화협약에 따른 당사국 의무 사항

	기후변화협약(UNFCCC)	교토의정서(Kyoto Protocol)	파리협정(Paris Agreement)
계획 기간	•'94년~	•1차 : '08~'14년 •2차 : '15~'20년	•'21년~
대상	•모든 당사국	•의무감축국(Annex I, 주로 선진국) •비-의무감축국(non-Annex I)	•모든 당사국
목표 및 의의	•대기 중 온실가스 농도 안정화를 목표로, 기후변화 대응 의무 부과 ※ 구체적 이행 방안 부족	•선진국을 대상으로 온실가스 감축량 명시 ※ 구체적 이행 방안 명시	•모든 당사국이 참여하는 신기후 체제로 온실가스 감축, 적응, 자원, 기술이전, 역량배양, 투명성 포괄
통계 산정 기준	•'96 IPCC GL	•1차 : '96 IPCC GL •2차 : '06 IPCC GL ※ 개도국 등 비의무감축국(non-Annex I)은 UNFCCC 하에서 '96-'06 IPCC GL 적용 가능	•'06 IPCC GL

<그림 1> 기후변화협약 및 파리협정하에서 국가 온실가스 통계 제출 기준



* 파리협정에 따라 선진국은 BTR은 격년으로 제출. BTR을 제출하지 않는 해는 NC와 NIR를 제출함.
출처 : Öko-institute, UNFCCC 보고 지침 기준

2006 IPCC GL의 세부 개정 사항을 살펴보면, 크게 인벤토리¹⁷⁾의 구조적 변화와 배출량 산정방법 변화로 구분된다. 먼저 인벤토리의 구조적인 변화로는 (가) 배출량 산정·보고 분야의 변경, (나) 신규 배출원 확대 및 기존 배출원의 상세화가 있으며, 산정방법 측면에서는 (다) 산정방법 고도화와 배출·흡수계수 개정이 있다.

17) 지침 개정에 따른 배출원·흡수원 목록변화를 설명하기 위해 '통계' 대신 '인벤토리' 용어를 사용함

가. 배출량 산정·보고 분야의 변경

기존 산정 기준(1996 IPCC GL, GPG 2000 및 GPG 2003)에서 국가 온실가스 통계 산정 분야는 크게 6개¹⁸⁾로 구분되었다. 이와 같은 기존 분야 구분은 2006 IPCC GL로 전환되면서 4개 분야¹⁹⁾로 축소되었다.

세부 분야별로 살펴보면, 에너지 분야의 경우 기존 지침에서 세부 배출원은 연료연소, 탈루, 연료의 비에너지 사용으로 구분되었으나 2006 IPCC GL에 따라 연료의 비에너지 사용 배출원이 산업공정 및 제품사용 분야로 이관²⁰⁾되었다. 이에 따라, 기존 국가 전체에서 차지하는 에너지 분야 배출량 비중이 낮아지고, 산업공정 및 제품사용 분야의 배출량 비중이 증가하였다.

폐기물 분야는 기존 1996 IPCC GL 체계를 유지하였으며, 농업과 LULUCF 분야는 유사 배출원 관리를 위해 AFOLU 분야로 통합²¹⁾되었고, 기존 LULUCF의 세부 배출원인 석회사용²²⁾ 부분이 농업 분야로 이관되었다.

<그림 2> IPCC GL에 따른 배출량 산정·보고 분야



나. 신규 배출원 확대 및 기존 배출원의 세분화

2006 IPCC GL은 기존 지침의 범주에 누락되어 있던 신규 배출원에 대한 산정방법론을 추가 개발하여 국가 온실가스 통계의 완전성(completeness)을 개선하였다.

18) 에너지, 산업공정 용제 및 기타 제품사용, 농업, 토지이용-토지이용변화 및 임업(LULUCF, Land use, Land-use Change and Forestry), 폐기물
 19) 에너지, 산업공정 및 제품사용(IPPU, Industrial Processes and Product Use), 농업-임업 및 기타 토지이용(AFOLU, Agriculture, Forestry, Other Land Use), 폐기물
 20) 1996 IPCC GL에서는 연료의 비에너지 사용으로 인한 배출량을 에너지 분야에서 물입물이라는 인자를 활용해 단기산화되는 배출량으로 간주하여 보고했다면, 2006 IPCC GL에서는 연료로 사용되지 않는 배출량을 모두 산업공정 및 제품사용으로 통합하고 각 비에너지 제품 공정별 산정방법과 배출계수를 제시(예: 석유화학 제품별 배출, 철강 업종 고로공정 배출, 윤활제 사용)
 21) 기존 지침에서는 농업 분야의 하위 단계인 벼재배 부문과 LULUCF 분야의 하위 단계인 농경지 부문으로 구분되었으나, 2006 IPCC GL은 AFOLU 분야의 농경지 부문의 하위 단계로 벼재배 부문을 구분함(단, 배출량은 기존과 같이 각각 보고)
 22) 농약이나 비료 따위를 논밭과 채소밭에 뿌려 이용하는 일

국내 온실가스 배출원 및 흡수원의 수²³⁾는 기존 지침 기준으로 총 75개에서 2006 IPCC GL 적용 시 31개가 추가된 106개로 확대된다. 신규로 추가된 배출원에는 에너지 분야의 석유·가스 추출, 폐광에서의 탈루 배출, 도로 수송에서 요소수 사용으로 인한 배출이 있고, 산업공정 및 제품사용 분야에서는 의료용 N₂O 사용으로 인한 배출, 농업 분야의 요소 비료 시용에 따른 배출 등이 있다.

<표 2> 2006 IPCC 지침에 따른 신규 배출원*(21년 기준)

분야	1996 IPCC GL		2006 IPCC GL	
	총합	총합(신규배출원)	신규 배출원	
에너지	26	33 (+7)	(추가) 폐광, 요소수 사용, 석유 및 가스 추출 (세분화) 코크스로, 광업, 기계조립, 탈기 및 소각	
산업공정 및 제품사용	16	37 (+21)	(추가) 윤활유 사용, 파라핀왁스 사용, 카프로락탐 생산, 의료사용 N ₂ O, 탈루배출량 (세분화) 유리생산, 소다회소비, 기타 탄산염, 벤젠, 스티렌, 탄산염, 전기로, 합금철 생산, 마그네슘 생산, 납 생산, 아연 생산, 기타 생산, 직접회로 또는 반도체, 액정표시장치, 광전지, 냉장 및 냉방, 발포제, 소화기, 에어로졸, 용매 (이관) 고로	
AFOLU	농업	20	23 (+3)	(추가) 간접 N ₂ O, 요소사용 (이관) 석회사용
	LULUCF	7	6 (-1)	(이관) 석회사용
폐기물	6	7 (+1)	(세분화) 생물학적 처리-퇴비화, 바이오가스시설 혐기소화	
총합	75	106(+31)		

* IPCC 지침에 따른 배출원·흡수원 분류(대분류, 중분류, 소분류)에서 중분류 기준이며, 일부 주요 배출원에 대해 소분류도 포함

또한 2006 IPCC GL로 개정되면서 다수의 기존 배출원이 세분화됨으로써 배출량의 정확성이 높아졌을 뿐만 아니라 국가 온실가스 배출원별 배출량에 대한 상세 분석이 가능하게 되었다. 이와 관련된 내용은 다음 절의 산정방법 고도화와 배출·흡수 계수 개정에서 함께 설명하고자 한다.

다. 산정방법 고도화와 배출·흡수 계수 개정

2006 IPCC GL에 제시된 고도화된 산정방법론과 배출·흡수계수 적용은 각 배출원의 세분화와 밀접한 관계가 있다. 산정방법 고도화는 결국 배출원별 특성에 따른 산정방법과 계수를 제시하여야 하기 때문이다. 2006 IPCC GL에서 배출원 세분화 사례는 배출원 유형(업종별, 폐기물 성상별, 가축연령별 등), 배출공정(처리기술), 생산제품별로 구분할 수 있다.

먼저 배출원 업종이 세분화된 경우는 산업공정 분야의 석회석 및 백운석 소비 부문을 예로 들 수 있다. 기존에는 석회석 및 백운석 소비 1개 배출원에 대해 1개 산정방법을 적용하였다면, 2006 IPCC GL에서는 석회석 및 백운석을 소비하는 업종을 8개로 세분화하고, 각각의 산정방법과 계수를 제시하여 업종별 배출량이 산정될 수 있도록 개정되었다.

23) 국내 배출·흡수량이 존재하는 배출·흡수원 수를 기준으로 계산함(2006 IPCC GL에서 제시하는 모든 배출·흡수원 중 국내 배출·흡수량이 없는 경우는 제외). 또한 IPCC 지침에 따른 배출원·흡수원 분류(대분류, 중분류, 소분류)에서 중분류를 기준으로 하되, 일부 주요 배출원에 대해 소분류까지의 배출원·흡수원 수를 포함(연료별, 가축별 등 전체를 세분류로 구분할 경우, 대상 배출원 수는 크게 증가함)

<표 3> 기존 배출원 세분화(산업공정 분야/석회석 및 백운석 소비)

1996 IPCC GL		2006 IPCC GL	
IPCC 기준 배출원코드	배출원	IPCC 기준 배출원코드	배출원
2	산업공정	2	산업공정
2A	광물생산	2A	광물생산
2A3	석회석 및 백운석 소비	2A3	유리생산
2A4	소다회 생산 및 백운석 소비	2A4b	탄산염의 기타 공정사용/소다회 소비
		2A4d	탄산염의 기타 공정사용/기타
		2C	금속산업
		2C1	철강생산
		2C1a3	철강생산/탄산염
		2C2	합금철생산
		2C5	납생산
		2C6	아연생산
		2C7	기타

* 음영 셀: 배출량 산정 배출원(이하 동일)

<표 4> 기존 배출원 세분화(폐기물 분야/폐기물 소각)

1996 IPCC GL		2006 IPCC GL	
IPCC 기준 배출원코드	배출원	IPCC 기준 배출원코드	배출원
6C	폐기물 소각	5C	폐기물소각
	생활 폐기물		생활 폐기물
			(36개) 종이/판지, 음식물, 고무/가죽, 플라스틱, 목재, 유리, 금속 등
	사업장 폐기물		사업장 폐기물
			(31개) 하수처리오니, 폐지, 폐섬유, 폐합성섬유, 폐합성고무, 폐피혁, 폐수처리오니 등
	건설 폐기물		건설 폐기물
			(20개) 폐목재, 폐합성수지, 폐섬유, 폐벽지, 폐보드, 폐판넬 등
	지정 폐기물		지정 폐기물
			(24개) 폐농약, 폐수처리오니, 폐유, 폐촉매, 폐페인트 등

<표 5> 기존 배출원 세분화(농업 분야/장내발효(젖소, 한·육우))

1996 IPCC GL		2006 IPCC GL	
배출원(축종/장내발효)	CH ₄ 배출계수 (단위: kg CH ₄ /head/yr)	배출원(축종/분뇨처리시설)	CH ₄ 배출계수 (단위: kg CH ₄ /head/yr)
젖소	118	젖소	
		1세 미만	33
		1~2세	83
		2세 이상	139
한·육우	47	한우	
		수컷 1세 미만	39
		수컷 1세 이상	61
		암컷 1세 미만	33
		암컷 1세 이상	53
		육우	53

2006 IPCC GL에서 배출원 공정 세분화한 경우는 철강 업종에서의 석탄 배출량을 예로 들 수 있다. 기존 지침에서는 1차 금속 1개 배출원에 대한 산정방법(연료연소)을 적용하였다면, 철강 제조공정인 코크스로와 고로로 구분하여 각각의 연료/원료별 배출계수를 적용함으로써, 공정별 연료별 배출 특성이 반영된 배출량이 각각의 배출원에서 산정될 수 있도록 개정되었다. 또한 폐기물 분야 하수처리 부문에서는 N₂O 배출계수를 하수처리 기술별로 제시하였고, 농업 분야 가축분뇨처리 부문에서는 N₂O 배출계수를 가축분뇨처리 시설별로 상세하게 제시함으로써 배출원별·처리기술별 배출 특성을 설명할 수 있도록 개선되었다.

<표 6> 기존 배출원 세분화(에너지와 산업공정 분야/철강업종/석탄연료)

1996 IPCC GL		2006 IPCC GL	
IPCC 기준 배출원코드	배출원	IPCC 기준 배출원코드	배출원
		1	에너지
		1A1	에너지산업
		1A1cia	코크스로
1A2	제조업 및 건설업	1A2	제조업 및 건설업
1A2a	1차 금속	1A2a	철강
		2	산업공정
		2C1	철강생산
		2C1a1	고로

<표 7> 기존 배출원 세분화(폐기물 분야/하수처리)

1996 IPCC GL		2006 IPCC GL	
배출원	N ₂ O 배출계수 (단위: t N ₂ O/t N)	배출원	N ₂ O 배출계수 (단위: t N ₂ O/t N)
폐기물		폐기물	
하수처리	0.01	하수처리	
		물리적 처리	0.00174
		생물학적 처리	0.01800
		고도처리	0.01220
		폐수종말처리	0.00568

<표 8> 기존 배출원 세분화(농업 분야/가축분뇨처리)

1996 IPCC GL		2006 IPCC GL	
배출원(축종/분뇨처리시설)	N ₂ O 배출계수 (단위: kg N ₂ O/kg N)	배출원(축종/분뇨처리시설)	N ₂ O 배출계수 (단위: kg N ₂ O/kg N)
닭(산란계)		닭(산란계)	
퇴비화시설	0.02	퇴비화시설	0.001
액비화시설	0.001	액비화시설	0.005
		퇴·액비화시설	0.001
		정화시설	0.005
기타시설	0.005	기타처리	0.001
		위탁처리	0.006

2006 IPCC GL에서 제품별 공정 세분화의 경우는 화학산업 기타 석유화학제품 생산 업종에서의 배출량이 그 예이다. 기존 지침에서는 기타 석유화학제품 중 4개²⁴⁾ 배출원에 대한 배출량을 산정하였으나, 2006 IPCC

GL에서는 석유화학제품을 에틸렌, 이염화에틸렌 및 염화비닐모노머, 아크릴로니트릴 등 7개로 세분화하여 각각의 계수를 제시함으로써, 제품별 배출량이 산정될 수 있도록 개정되었다.

<표 9> 기존 배출원 세분화(산업공정 분야/석유화학업종)

1996 IPCC GL		2006 IPCC GL	
IPCC 기준 배출원코드	배출원	IPCC 기준 배출원코드	배출원
2	산업공정	2	산업공정
2B	화학산업	2B	화학산업
2B2	질산생산	2B2	질산생산
2B3	아디프산 생산	2B3	아디프산 생산
2B4	카바이드생산	2B4	카프로락탐, 글리옥살, 글리옥살생산
		2B5	카바이드 생산
		2B6	
		2B7	
2B5	기타 화학제품생산	2B8	기타 화학제품생산
	카본블랙	2B8a	
	에틸렌	2B8b	에틸렌
	염화에틸렌	2B8c	염화에틸렌, 염화비닐모노머
	스티렌	2B8d	에틸렌옥사이드
		2B8e	아크로니트릴
		2B8f	카본블랙
		2B8g	기타
		2B8g1	스티렌 생산
		2B8g2	벤젠, 톨루엔, 자이렌 생산

2006 IPCC GL로 전환되면서 산정방법과 계수가 모두 변경된 경우 외에도 산정방법은 그대로이나, 배출 계수 또는 매개변수가 개정된 경우도 있다. 이와 관련한 가장 중요한 개정사항은 연료의 산화율²⁵⁾이다. 산화율은 기존 지침에서 석탄, 석유, 가스연료 별로 상이한 수치를 적용한 반면, 2006 IPCC GL에서는 모든 연료의 산화계수를 1로 고정하였다.

<표 10> 연료별 산화계수(에너지 분야/연료연소 부문)

1996 IPCC GL		2006 IPCC GL	
연료	산화계수	연료	산화계수
석탄	0.98	석탄	1
석유	0.99	석유	
가스	0.995	가스	

2006 IPCC GL은 기존 지침에서 제외 혹은 통합되어 파악하기 어려웠던 배출원이 추가·분류되고, 각 배출원 특성을 고려한 산정방법과 배출계수를 제시하는 방향으로 고도화하여 국가 온실가스 배출원에 대한 세부 정보를 제공하고, 배출량 정확도를 높이는 방향으로 개정되었다.

24) 카본블랙, 에틸렌, 염화에틸렌, 스티렌

25) 산화율이란 단위 물질당 산화되는 비율을 의미

2. 지구온난화지수 개정(제5차 IPCC 평가보고서)

온실가스가 배출되어 대기 중에 머무는 기간과 열 흡수량 등 온실가스별로 지구온난화에 기여하는 정도가 각각 상이하므로, 온실가스들을 하나의 기준으로 비교·평가하기 위해 국제사회에서는 온실가스별 배출량을 CO₂ 환산량(CO₂eq., carbon dioxide equivalent)으로 환산하여 활용하고 있다. CO₂ 환산량은 각각의 온실가스가 지구온난화에 기여하는 정도를 수치로 표현한 지구온난화지수(GWP, Global Warming Potential)를 활용하여 산정하며²⁶⁾, GWP 수치는 IPCC 평가보고서를 기준으로 한다.

예를 들면, 제5차 IPCC 평가보고서에서 이산화탄소 GWP는 1, 그리고 메탄은 28이다. 이는 같은 양의 CO₂와 CH₄이 있을 때 CH₄이 CO₂보다 지구온난화에 미치는 기여도가 28배 큰 것을 의미하고, CH₄ 1톤은 CO₂ 환산량으로는 28 톤CO₂eq.가 배출된다는 것을 의미한다.

GWP는 1990년 제1차 IPCC 평가보고서를 통해 처음 발표되었으며, IPCC 평가보고서가 개정되면서 GWP도 갱신되었다. 현재까지 제1~6차 IPCC 평가보고서²⁷⁾에 따라 6개 버전의 GWP가 보고되었으며, 기후변화협약에 따른 국가 온실가스 배출량 산정 시 적용되는 GWP의 기준은 기후변화협약 협상기간 중 가장 최근의 IPCC 평가보고서를 적용하도록 규정하고 있다.

우리나라는 기후변화협약에 따른 개도국(<표 1> 참조)으로서 제2차 IPCC 평가보고서 기준의 GWP를 적용하고 있었다. 그러나 앞서 언급한 대로 파리협정 이행지침²⁸⁾에 따라, GWP는 모든 국가가 동일하게 제5차 IPCC 평가보고서를 적용하는 것으로 개정되었으므로 우리나라에서 배출되는 온실가스별 기여도도 변경되었다. 예를 들면 CH₄의 경우 기존 CO₂ 대비 21배의 효과에서 28배로, N₂O는 310배에서 265배로, SF₆은 23,900배에서 23,500배로 달라지며, HFCs와 PFCs는 각각의 세부 가스별로 증감이 달라진다. 이는 2021년 이후 파리협정에 따라 국가 온실가스 통계를 제출하는 전 세계 모든 국가에서 필수적으로 반영해야 하는 기준으로, 과학기술의 발전 등의 진전 사항을 온실가스 분석 방법에 반영하기 위한 개정인 동시에 전 세계 국가별 온실가스 통계의 비교를 위한 필수적인 전제조건이기도 하다.

<표 11> 지구온난화지수 비교

구분	제2차 IPCC 보고서의 GWP	제5차 IPCC 보고서의 GWP
CO ₂	1	1
CH ₄	21	28
N ₂ O	310	265
HFCs	140~11,700	116~12,400
PFCs	6,500~9,200	6,630~11,100
SF ₆	23,900	23,500
NF ₃		16,100

26) 예: 온실가스 배출량 = 활동자료 × 배출계수 × 온실가스별 지구온난화지수

27) 2차(1995년), 3차(2001년), 4차(2007년), 5차(2014년) 6차(2023년)

28) Decision 18/CMA.1 Annex, Modalities, procedures and guidelines for the transparency framework for action and support referred to in Article 13 of the Paris Agreement

3. 온실가스 확대(7대 온실가스)

우리나라는 파리협정 이행지침²⁹⁾에 따라 기존 국가 온실가스 통계 포함된 6대 온실가스 외에 삼불화질소(NF₃)³⁰⁾에 대한 통계를 추가로 산정하여 총 7개 온실가스에 대한 배출량 통계를 기후변화협약에 제출하게 될 예정이다.

NF₃ 배출량 산정 관련 국제동향을 살펴보면, 2001년 제3차 IPCC 평가보고서에 NF₃의 GWP(10,800)가 최초로 수록된 이후, 2006 IPCC GL을 통해 산정방법과 배출계수가 정립되었다. 국가별로 NF₃ 배출량 산정·보고를 시작한 시점은 교토의정서 2차 의무기간(2013~2020)으로, 교토의정서상 의무감축국 대상으로 기존 6대 온실가스에 추가로 NF₃에 대한 산정·보고가 의무화되었다. 이후, 파리협정 모든 당사국을 대상으로 2021년부터 NF₃를 포함한 7대 온실가스 산정·보고가 의무화되었다.

<표 12> NF₃ 국제 온실가스 통계 작성·보고 관련 주요 내용

구분	내용	비고	NF ₃ 보고의무
2001	• 제3차 IPCC 평가보고서에 NF ₃ GWP(10,800) 최초 수록	제3차 IPCC 평가보고서	없음
2006	• 2006 IPCC GL 보고대상 온실가스*에 NF ₃ 추가 * 제3차 IPCC 평가보고서에 GWP가 수록된 몬트리올 의정서에 포함되지 않은 온실가스	06 IPCC GL	
2007	• 제4차 IPCC 평가보고서(AR4)에 NF ₃ GWP(17,200) 갱신	제4차 IPCC 평가보고서	교토의정서에 따른 의무감축국 (15~)
2012	• NF ₃ 를 교토의정서 2차 협약기간('13~'20년) 대상 7대 온실가스로 추가 결정	COP 18 (카타르, 도하)	
2013	• 교토의정서에 따른 의무감축국 NF ₃ 산정방법, GWP(제4차 IPCC 평가보고서), 기준연도 등 국가통계 적용방안 확정(2015년부터 제출)	COP 19 (폴란드, 바르샤바)	
2014	• 제5차 IPCC 평가보고서에 NF ₃ GWP(16,100) 갱신	제5차 IPCC 평가보고서	
2015	• 파리협정 채택	COP 21 (프랑스, 파리)	
2018	• 파리협정 이행지침하에서 모든 당사국의 NF ₃ 보고의무('24년~) 부여* * 개도국에 한하여 유연성 조항 적용 가능	COP 24 (폴란드, 카토비체)	모든 당사국('24~)

NF₃는 온실가스 중 다른 불소계 온실가스인 HFCs, PFCs, SF₆과 함께 반도체·디스플레이 제조공정(식각, 증착)에서 챔버 내 불순물³¹⁾ 제거를 위한 세정가스로 사용되고 있으며, 온실가스 배출 저감을 위해 약 2000년부터 GWP가 높은 불소계 온실가스(SF₆ 등)의 대체가스로 활용되었다. 그러나 NF₃를 포함한 불소계 온실가스는 여전히 타 온실가스에 비해 GWP가 높기때문에, 국내 반도체·디스플레이 제조 업계에서는 온실가스 감축 기술 도입 등을 통해 지속적인 감축 노력을 이행해왔다. 이와 같은 업계의 감축 노력은 금번 개정 통계에 반영될 예정으로, 정확한 통계 구축을 통해 우리나라 산업계의 온실가스 감축 노력을 객관적으로 설명할 기회로 활용하여야 한다.

<표 13> NF₃ 물질특성

물질명	용도	GWP	유해성	특성
NF ₃	반도체 및 디스플레이 제조공정 세정용가스	16,100 (5차 IPCC 보고서)	산화성, 고압, 급성독성 특정표적장기독성	무색의 곰팡이 냄새가 나는 독성가스, 강한 산화제로 가연성 물질과 접촉 시 폭발 가능

※ 제조방법: 불소(F)를 함유한 무색의 과불화화합물(PFC)의 일종으로, 암모니아(NH₃)와 F를 고온·고압 반응시켜 추출·정제하여 제조

29) Decision 18/CMA.1 Annex, Modalities, procedures and guidelines for the transparency framework for action and support referred to in Article 13 of the Paris Agreement

30) 2012년 카타르 도하에서 개최된 제18차 UNFCCC 당사국총회에서 NF₃가 7번째 온실가스로 지정됨

31) 이산화규소(SiO₂), 질화규소(Si₃N₄)

4. 기초통계 개선

분야별 국가 온실가스 통계 관계부처와 국내 연구기관은 2006 IPCC GL 적용의 완전성을 높이기 위해 온실가스 통계의 활동자료로 활용되는 기초통계에 대한 개선 노력을 기울여 왔다. 이와 같은 기초통계 개선 노력은 신규(개정) 통계 반영과 기존 통계의 상세 자료 반영으로 구분할 수 있다.

신규(개정) 기초통계는 대표적으로 개정 에너지밸런스³²⁾와 키갈리개정서에 따른 HFCs 신규 통계가 있다. 먼저 온실가스 배출량 중 가장 큰 비중을 차지하는 에너지 분야의 주요 기초통계인 에너지밸런스³²⁾가 2023년에 개정되었다. 에너지밸런스가 1983년에 도입된 이후 다변화된 에너지 흐름을 반영하기 위해 40여 년 만의 전면 개편이 단행되었다. 이에 따라 국제기준에 부합한 에너지 상품의 생산·거래·소비 통계가 구축되었으며, 국가 온실가스 통계에서도 신규 배출원 또는 세부 배출원에 대한 기초자료가 확보되어 2006 IPCC GL에 따른 온실가스 통계 산정이 가능해졌다.

냉매는 냉난방, 냉동·냉장 등의 효과를 목적으로 사용되는 기후·생태계 변화 유발 물질로, 그중에서도 HFCs는 오존층파괴물질인 프레온계 냉매를 대체할 물질로 개발되었다. 그러나 HFCs가 지구온난화에 큰 영향을 미침에 따라 유엔환경계획(UNEP, United Nations Environment Programme)에서는 HFCs의 수입·제조량을 동결하고, 국가별 감축목표를 통해 HFCs의 소비량을 감축하도록 하는 키갈리개정서를 채택하였다. 국내에서는 키갈리개정서 이행을 위해 「오존층 보호를 위한 특정물질 제조 규제 등에 관한 법률」을 개정³³⁾(2023)하였고, 동 법에 근거하여 HFCs에 대한 수입·제조량 조사 통계가 신규로 구축되었다. 이에 법에 근거한 HFCs 통계의 정확성이 확보됨에 따라 국가 온실가스 통계의 냉매 온실가스 배출량 산정에 적용할 수 있게 되었다.

또한 가축분뇨처리 시설 및 장내발효에 대한 온실가스 산정의 기초자료인 가축에 대한 기초통계도 기존의 한육우, 돼지 등 9개 가축으로 분류하던 기준을 가축별·연령별로 22종으로 구분을 확대하였다. 폐기물 분야의 경우, 폐기물 성상 구분이 기존 4종(생활, 사업장, 건설, 지정 폐기물)에서 상세 성상별 111개(종이·판지, 플라스틱, 폐유 등)로 확대하여 보다 정밀한 온실가스 통계 산정이 가능하게 되었다.

32) 특정기간 동안 한 국가의 모든 개별 에너지 상품의 수급 상황을 회계적(통계자료) 형태로 표현한 것으로, 2023년 전면 개편으로 에너지 상품(29→58개), 에너지 흐름(41→88개)으로 세분화하여 총에너지 공급량은 약 2.2% 감소한 것으로 나타남

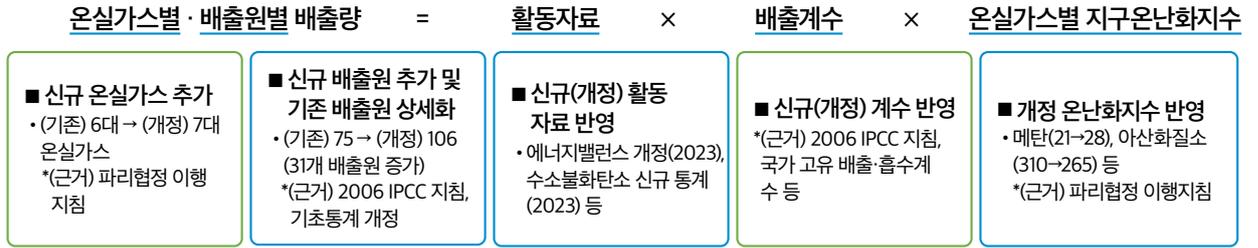
33) 키갈리개정서(몬트리올의정서 개정안, 2016년 채택, 2019년 발효)에 따라 국내에서는 오존층보호법을 개정하여 2024년부터 HFCs의 수입제조량을 동결하고 2045년까지 80% 감축 예정(산업통상자원부 장관과 환경부 장관은 오존층보호법에 따라 매년 특정물질의 국내 총생산 및 수입량을 관리하고 생산량 및 소비량 산정치의 기준 한도를 정하고 공고해야 함. 특정물질 제조업자 및 수입업자는 제조 연도 직전 연도마다 산업통상자원부 장관에게 제조 수량의 허가를 받아야 하며, 수출업자도 특정물질을 수출하는 경우 산업통상자원부령에 따라 승인을 받아야 함

34) 국가 온실가스 통계는 IPCC 지침에 따라 매년 산정방법과 배출·흡수계수가 개정될 경우, 그리고 정확한 기초통계가 개발된 경우, 전체 시계열을 재계산하는 것이 기본 원칙(일관성, consistency)임. 국가 온실가스 통계가 매년 전 시계열이 재계산되는 것은 통계의 불확도를 줄이는 노력이며, IPCC 국제기준에 따른 이행으로 주요 선진국의 온실가스 통계도 매년 재계산을 이행하고 있음

35) 지침 전환*에 따른 통계 차이가 큰 순으로, 러시아 24.8%(570백만톤CO₂eq.), 일본 3.5%(47백만톤CO₂eq.), 미국 0.9%(57백만톤CO₂eq.), 영국 0.5%(2.8백만톤CO₂eq.), 독일-1.2%(11백만톤CO₂eq.)

* 교토의정서상 의무감축국(Annex I)이 UNFCCC에 '15년에 제출한(2006 IPCC GL) 2012년 배출량과 2014년에 제출한 2012년 배출량(1996 IPCC 지침)을 비교한 수치임

<그림 3> 국가 온실가스 통계 산정 변수별 개정 사항



Ⅲ. 맺음말

금번 국가 온실가스 통계 개정은 「국가 온실가스 통계 종합관리체계」가 법제화된 2010년 이후 첫 전면 개편으로 국제기준에 부합한 국가 온실가스 통계 구축을 위해 단행되었다. 개편의 큰 축은 파리협정 이행을 위한 ① 산정지침(2006 IPCC GL) 개정, ② GWP 개정(5차 IPCC 평가보고서), ③ 보고 대상 온실가스 확대(NF₃ 추가), ④ 기초통계(에너지밸런스, HFCs 통계 등) 개선으로 구분할 수 있다.

한편, 신규 배출원 추가와 기초통계 개선 등의 사유로 기존 국가 온실가스 배출량 대비 국가 총배출량은 증가하는 것으로 나타났다. 우리나라보다 앞서 2006 IPCC GL로 전환한 나라들에서도 재계산³⁴⁾에 따른 국가 통계 차이가 -6.5~24.8% 정도로 발생하였다³⁵⁾. 이는 앞서 본문에서 분석한 바와 같이 온실가스 배출원과 흡수원 산정방법에 대한 과학기술의 발전 및 기초통계 확보 여건 등의 진전 사항을 반영하였기 때문으로, 파리협정 체제하에서 국제 온실가스 통계와의 비교가능성(Comparability)을 높이는 동시에 국내 온실가스 배출원 및 흡수원에 대해 보다 상세한 통계 자료를 생산할 수 있는 기반을 마련하였다고 평가할 수 있다.

참고문헌

온실가스종합정보센터(2023). 2022 국가 온실가스 인벤토리 보고서

문미라, 김요섭, 윤영, 김민철(2021). 불소계 온실가스 감축을 위한 국내외 냉매 관리 동향. GTC Brief. 녹색기술센터

최형욱, 오민영(2016). 제44차 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC) 총회에서의 논의와 동향. 기후변화와 녹색성장 제12호. 온실가스종합정보센터

김문정(2023). 2006 IPCC 지침에 따른 주요국 온실가스 인벤토리 영향 분석. 한국기후변화학회 2023년 하반기학술대회 발표자료

김소현, 김대욱, 최형욱(2023) 산업공정 및 제품사용 분야 '96 및 '06 IPCC 지침간 온실가스 인벤토리 비교 분석. 한국기후변화학회 2023년 하반기학술대회 포스터

김은영, 김문정, 최형욱(2023) 농업, LULUCF(AFOLU) 분야 '96 및 '06 IPCC 지침간 온실가스 인벤토리 비교 분석. 한국기후변화학회 2023년 하반기학술대회 포스터

이현화, 김지연, 최형욱(2023) 투명성체계 이행지침 준수를 위한 에너지 분야 온실가스 인벤토리 개선사항 연구. 한국기후변화학회 2023년 하반기학술대회 포스터

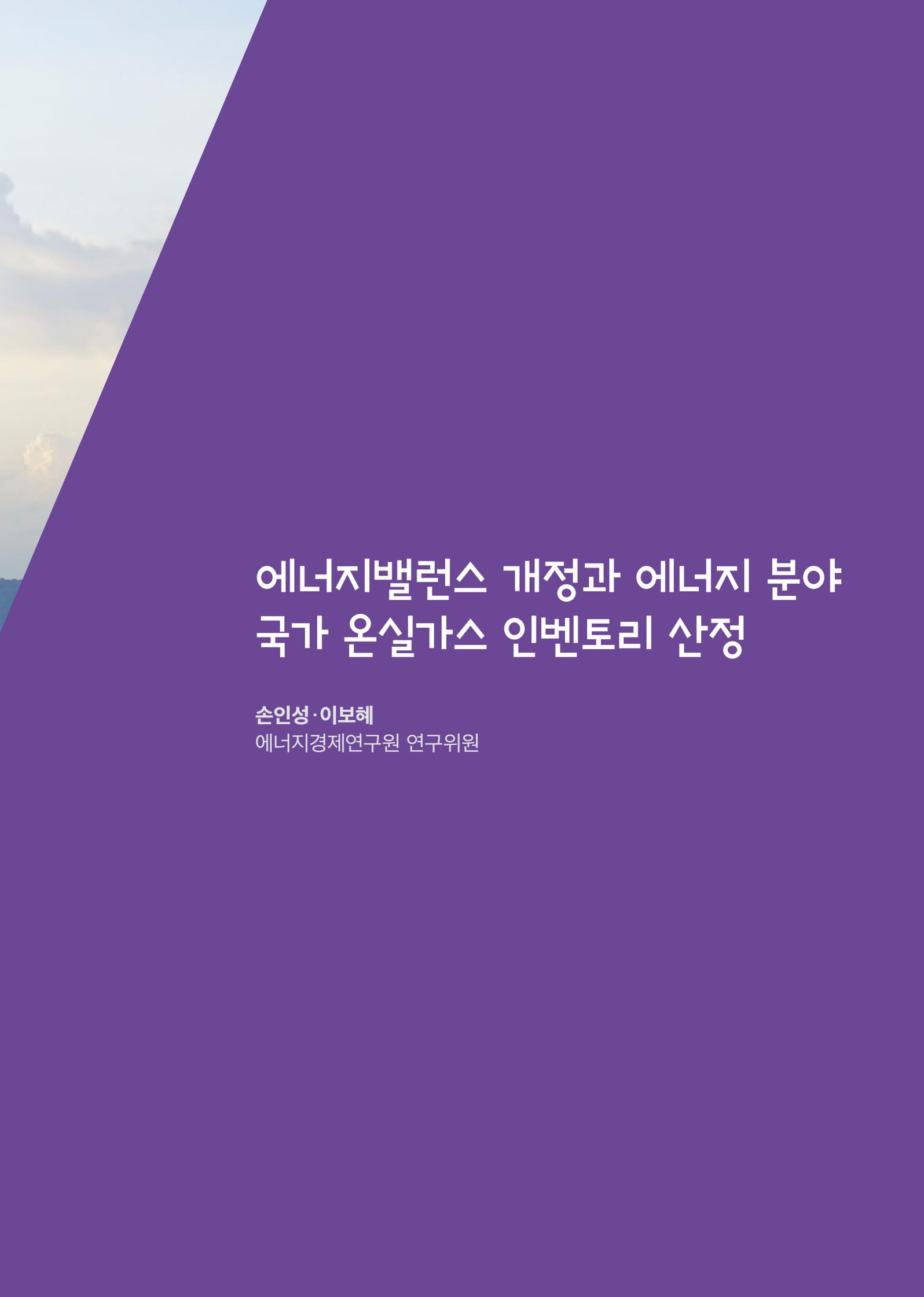
에너지경제연구원(2023.2.6). 에너지경제연구원, 30여 년 만에 국가 에너지수급통계 전면 개편. 에너지경제연구원 보도자료

위키백과. <https://ko.wikipedia.org/wiki/>. 검색어: 기후변화에 관한 정부간 협의체

IPCC(2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

Scheffler, M., Moosmann, L., & Cook, N. (2022). Good Practices in GHG Inventories for the Waste Sector





에너지밸런스 개정과 에너지 분야 국가 온실가스 인벤토리 산정

손인성·이보혜
에너지경제연구원 연구위원

I. 파리협정 강화된 투명성 체계

2015년 유엔기후변화협약(UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change) 당사국들은 1997년 채택된 교토의정서(Kyoto Protocol)에 이은 후속 국제 기후변화 대응 체계로서 파리협정(Paris Agreement)을 채택하였다. 파리협정이 교토의정서와 갖는 가장 큰 차이는 선진국과 개도국 간의 차별 없이 모든 당사국이 온실가스 감축에 참여해야 한다는 것이다. 교토의정서에서는 선진국에만 온실가스 감축 의무가 부여되었고, 의무 수준은 당사국 간의 논의를 통해 결정되었다. 하지만 파리협정에서는 모든 당사국이 자발적으로 온실가스 감축 목표를 설정하고 이를 이행해야 한다.

파리협정의 중요한 특징 중 하나는 순환적 의욕 상향 메커니즘을 구축한 것이다. 당사국은 자발적으로 온실가스 감축 목표(NDC, Nationally Determined Contribution)를 설정하고, NDC 이행 정보를 격년투명성보고서(BTR, Biennial Transparency Report)로 보고해야 한다. 파리협정은 지구적 이행점검(GST, Global Stocktake)을 통해 당사국의 BTR, 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change) 평가보고서 등을 종합하여 파리협정 목표 달성을 위한 당사국들의 종합적 노력을 점검한다. 그리고 GST를 통해 확인된 파리협정 목표와 당사국들의 종합적 노력 간의 격차를 각 당사국의 차기 NDC 수립에 반영하여 감축 의욕을 상향하도록 유도한다.

UNFCCC와 교토의정서 하에서도 당사국들은 국가 온실가스 인벤토리와 감축 이행에 대한 정보를 보고해야 했다. 하지만 파리협정은 온실가스 감축 이행 국가의 확대와 순환적 의욕 상향 메커니즘의 원활한 운영을 위해서 더욱 강화된 투명성 체계를 수립하였다. 파리협정은 BTR을 통해 2년마다 국가 온실가스 인벤토리, NDC 이행, 기후변화 적응, 재정·기술개발 및 이전·역량배양 지원의 제공 및 수혜 등에 공통의 양식에 맞춰 보고하도록 하였다.

투명성체계에서 보고되는 여러 정보 중 온실가스 인벤토리는 당사국 나아가 전 세계적으로 정확한 온실가스 배출 현황과 추세를 확인할 수 있도록 해준다. 하지만 이를 위해서는 모든 당사국이 합의된 규칙에 맞춰 온실가스 인벤토리를 산정 및 보고할 필요가 있다. 2018년 12월 폴란드 카토비체에서 채택된 투명성체계를 위한 방식·절차·지침은 각 당사국이 국가 온실가스 인벤토리 IPCC 2006 지침¹⁾과 파리협정 당사국총회(CMA, Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement)가 합의한 후속 및 개정 IPCC 지침을 사용하도록 하였다(UNFCCC, 2018).

2024년 첫 번째로 제출해야 하는 BTR에는 2006 IPCC 지침에 따른 국가 온실가스 인벤토리를 보고해야 한다. 2006 IPCC 지침은 1996 IPCC 지침을 대체하는 지침으로 둘 사이에는 기본적으로 요구되는 활동자료의 수준에서부터 차이가 나는 바, 우리나라도 2006 IPCC 지침에 따라 국가 온실가스 인벤토리를 산정할 수 있는 준비가 필요하였다(손인성·김동구, 2019). 국내에서는 『제2차 국가 온실가스 통계 총괄관리계획(2020)』을 통해 2020년부터 IPCC 2006 가이드라인 적용을 위한 기반을 마련하고, 2022년 시범 산정을 거쳐 2023년부터 공식 산정을 시작하는 계획을 수립하였다.

1) IPCC (2006). 2006 IPCC Guidelines of National Greenhouse Gas Inventories.

에너지 분야 국가 온실가스 인벤토리 산정에 2006 IPCC 지침을 적용하기 위해서는 국제 기준에 부합하는 세분화된 에너지밸런스가 필요하다. 에너지경제연구원은 변화된 에너지 현황을 반영하기 위해 에너지밸런스를 국제 기준에 부합하는 형태로 개선하기 위한 노력을 지속해 왔다. 그리고 2022년 에너지밸런스가 국제기준이 부합하는 형태로 개정됨에 따라 2006 IPCC 지침을 적용한 에너지 분야 국가 온실가스 인벤토리 산정이 가능해졌다.

II. 국제 기준에 부합하는 개정 에너지밸런스 구축

1. 에너지밸런스 개정 배경

에너지 통계는 다양한 세부 분야의 많은 관련 통계들을 포함한다. 그 중 한 국가에서 일어나는 모든 에너지 흐름은 에너지수급통계로 알 수 있다. 에너지수급통계는 한 국가에서 일 년간 공급되고 소비되는 모든 에너지 상품을 나타낸 에너지밸런스를 통해서 생산된다.

우리나라는 1983년부터 에너지밸런스를 작성하기 시작하였다. 당시에는 국제 기준을 바탕으로 우리나라의 에너지 현황을 반영하는 형태로 개발되었으나, 이후 국내외 에너지 시장이 복잡하고 다양하게 변화하는 동안에도 큰 변화 없이 그 형태를 유지하며 작성 방법만 변경해 왔다. 그러나 이로서는 지난 40년 가까운 기간 동안 변화한 에너지 산업을 현실적으로 표현하는 데 상당한 한계가 있었다.

기술 발전으로 다양한 에너지 상품이 개발되고, 인구 증가와 산업의 발달로 더 많은 양의 에너지가 생산되고 동시에 소비되면서 에너지에 대한 의존이 커지고, 기후 위기로 온실가스 배출이 국제 사회의 의제가 되면서 에너지 소비에 대한 우려 또한 높아지고 있다. 이렇듯 에너지 수급에 대한 관심이 높아짐에 따라, 에너지밸런스의 개편에 대한 필요성이 더 커졌다.

에너지경제연구원은 6차에 걸쳐 「국제 기준에 부합하는 개정 에너지밸런스 구축 사업」을 통해 개정 에너지밸런스 작성 시스템과 시계열(1990년 이후)을 구축하였고, 2022년 10월 통계청의 변경 승인을 통해 에너지수급통계를 구 에너지밸런스에서 개정 에너지밸런스 기반으로 개편하였다. 개편 결과는 2022년 에너지 통계 연보부터 수록하였으며, 개정 에너지밸런스와 집계 결과가 수록된 발간물들은 국가에너지통계종합정보시스템(KESIS, Korea Energy Statistical Information System)²⁾에서 확인할 수 있다.

2) <https://www.kesis.net/main/main.jsp>

2. 에너지밸런스 개정 내용

가. 개정 에너지밸런스의 종류

개정 에너지밸런스는 간이밸런스와 확장밸런스 두 가지 종류가 있다. 간이밸런스는 에너지 수급 추이를 신속히 파악하여 통계를 제공하기 위해 월간 단위로 작성되며, 시의성이 요구되는 에너지통계월보, 에너지통계연보 등 발간물에 결과가 수록된다. 반면 확장밸런스는 추가적인 조사 자료를 이용하여 에너지 수급 흐름을 상세하고 정확하게 반영하는 연간 밸런스로 온실가스 배출량 산정, 에너지 수급 전망 등 전문 분야의 기초자료로 활용된다. 두 밸런스의 가장 큰 차이는 전환 부문에 있는데, 이는 월 단위로 수집되는 기초자료는 자가발전이나 열 생산 정보를 포함하지 않고, 중요 사업체 조사가 연 단위로 시행되기 때문이다.

나. 개정 에너지밸런스의 에너지 상품

개정 에너지밸런스는 구 에너지밸런스보다 에너지 상품을 상당히 세분화하였으며, 특히 석유정제의 원료인 원유 등을 에너지 상품에 포함하여 에너지 산업을 보다 현실화하였다.

구 에너지밸런스는 석탄을 4개 상품으로만 구성했지만, 간이밸런스는 아역청탄, 갈탄, 토탄, 고품연료, 코크스, 콜타르를 추가하였으며, 확장밸런스는 철강 생산 공정에서 발생하는 코크스로가스, 고로가스, 기타 석탄가스 등의 석탄가스까지 추가했다.

원유를 수입해서 석유제품을 생산하는 우리나라의 상황을 구 에너지밸런스는 정제 공정을 통해 생산된 석유제품을 수입으로 간주하였기 때문에 밸런스에 원유와 같은 정제원료를 포함하지 않았다. 개정 에너지밸런스는 원유, 정제원료, 첨가물, 기타탄화수소와 같은 정제원료를 에너지 상품에 추가하여 세계적 수준인 우리나라의 석유 산업을 밸런스에 표현하였다. 또한 기타석유에 묶여있던 정제가스를 분리하고, 부생연료유를 각각 등유와 중질중유에 포함하였다.

개정 에너지밸런스는 다양한 에너지 상품으로 구성된 신재생 및 기타를 세분화하였다. 신재생 및 폐기물 에너지의 기초자료인 「신·재생에너지 보급통계」가 연간으로 조사되기 때문에 간이밸런스는 수력, 바이오 및 폐기물, 지열, 태양 및 기타, 기타에너지원 4가지로 구분하였으나, 확장밸런스는 이들을 모두 개별 에너지상품으로 분리하였다.

<표 1> 개정 에너지밸런스의 에너지 상품

구 에너지밸런스	개정 에너지밸런스	
	간이밸런스	확장밸런스
석탄	석탄 및 석탄제품	국내무연탄
무연탄	무연탄	수입무연탄
국내탄	국내 무연탄	원료탄
수입탄	수입 무연탄	기타유연탄
유연탄	유연탄 및 기타	아역청탄
원료탄	원료탄	갈탄
연료탄	기타유연탄	토탄
석유	아역청탄	고형연료

구 에너지밸런스	개정 에너지밸런스	
	간이밸런스	확장밸런스
에너지유	갈탄	코크스
휘발유	토탄	콜타르
등유	고형연료	코크스로가스
경유	코크스	고로가스
경질중유	천연가스	기타 석탄가스
중유	도시가스	천연가스
중질중유	원유 및 정제원료	도시가스
JA-1	원유	원유
JP-4	정제원료	정제원료
애비가스	첨가물	첨가물
LPG	기타탄화수소	기타탄화수소
프로판	석유제품	정제가스
부탄	정제가스	프로판
비에너지유	프로판	부탄
납사	부탄	휘발유
용제	휘발유	항공휘발유
아스팔트	항공휘발유	휘발유형항공유
윤활유	휘발유형항공유	등유형항공유
파라핀왁스	등유형항공유	등유
석유코크	등유	경유
기타석유	경유	B-A
천연가스	B-A	B-B
도시가스	B-B	B-C
수력	B-C	납사
원자력	납사	용제
전력	용제	윤활유
열	윤활유	아스팔트
신재생 및 기타	아스팔트	파라핀왁스
	파라핀왁스	석유코크
	석유코크	기타석유제품
	기타석유제품	산업폐기물
	원자력	도시폐기물 재생
	수력	도시폐기물 비재생
	바이오 및 폐기물	고형바이오매스
	지열, 태양 및 기타	바이오가스
	기타에너지원	매립지가스
	전기	바이오휘발유
	열	바이오경유
		기타바이오연료
		목탄
		원자력
		수력
		지열
		태양광
		태양열
		해양
		풍력
기타에너지원		
전기		
열		

다. 개정 에너지밸런스의 에너지 흐름

개정 에너지밸런스는 국제 기준을 준용하면서 구 에너지밸런스가 표현하지 못했던 우리나라의 에너지 산업 현황을 반영하기 위해 에너지 수급 흐름을 현실적으로 상세화하였다.

구 에너지밸런스는 석유정제 공정을 표현하지 않고, 정제를 통해 생산한 석유제품을 수입으로 간주하여 수입 항목 내에 석유생산에 집계하였으나, 개정 에너지밸런스는 석유정제 공정을 전환 공정에 포함하여 수입 항목에는 순수한 수입만 집계하였다. 또한 구 밸런스는 국제병커링 기준을 국적으로 하였으나, 개정 밸런스는 국제 기준을 준용하여 노선으로 작성 기준을 변경하였다. 이렇게 작성된 공급 부문 항목들은 일차에너지공급에 포함되어 일년 동안 우리나라에 공급된 에너지의 총량을 나타낸다.

<표 2> 개정 에너지밸런스의 에너지 흐름(공급)

구 밸런스	간이밸런스	확장밸런스
국내생산	국내생산	국내생산
수입	수입	수입
석유생산	수출	수출
석유수입	국제해운병커링	국제해운병커링
수출	국제항공병커링	국제항공병커링
국제병커링	재고변화	재고변화
재고증감	일차에너지공급	일차에너지공급
연초재고	제품이동	제품이동
연말재고	통계오차	통계오차
통계오차		

에너지밸런스를 개정하면서 가장 크게 변화된 부분은 바로 전환 공정이다. 우리나라는 하나의 에너지 상품을 다른 에너지 상품으로 전환하는 산업이 크게 발전되었음에도, 구 밸런스는 이를 발전, 지역난방, 가스제조 3가지로 표현하여 현실을 충분히 반영하지 못하는 상당한 한계를 가지고 있었다. 전환 공정은 연간 조사 사업의 자료가 필요하기 때문에, 간이밸런스는 항목 구성이 다소 단순하나, 확장밸런스는 전환 공정을 크게 12개의 항목으로 구성하고, 전기와 열 생산은 사업과 자가로 구분하였다.

구 밸런스는 전기와 열 생산을 발전, 지역난방 두 가지로만 구분하였으나, 개정 밸런스는 이를 발전전용, 열병합, 열전용으로 구분하여 생산 형태를 명확히 나타냈으며, 이들을 사업과 자가로 구분하여 전기와 열의 생산과 유통을 밸런스를 통해 확인할 수 있도록 하였다. 또한 코크스로와 고로 등 철강 생산 공정을 통해 석탄제품의 전환 흐름을 나타냈으며, 석유정제와 석유화학 항목을 통해 원유로 석유제품을 생산하는 과정은 물론 석유의 환류까지 표현하였다. 이외에도 화학반응열, 연탄제조, 석탄합성가스제조, 기타전환 항목을 포함하여 비철 금속 제조 과정에서 발생하는 열에너지, 연탄, 석탄가스화복합발전(IGCC, Integrated Gasification Combined Cycle), 연료전지 등의 생산도 파악할 수 있도록 하였다.

개정 밸런스는 자체 소비를 에너지 산업별로 구분하였는데, 예를 들어 양수투입의 경우 양수발전에서 사용한 전기와 생산된 전기의 차이를 기재하여 해당 에너지 산업에서 발생하는 에너지 상품의 투입과 산출을 정확히 반영하였다.

<표 3> 개정 에너지밸런스의 에너지 흐름(전환)

구 밸런스	간이밸런스	확장밸런스
에너지 전환	전환 공정	전환 공정
발전	발전전용	발전전용
지역난방	열병합	발전전용_사업
가스제조	열전용	발전전용_자가
자가소비 및 손실	석유제품생산	열병합
	가스제조	열병합_사업
	석탄합성가스제조	열병합_자가
	기타전환	열전용
	전환자체소비	열전용_사업
	손실	열전용_자가
		화학반응열
		코크스로
		고로
		연탄제조
		석유정제
		석유화학
		가스제조
		석탄합성가스제조
		기타전환
		에너지산업자체소비
		석탄광업
		원유및천연가스채굴
		발전및열생산_자체소비
		양수투입
		코크스로_자체소비
		고로_자체소비
		연탄제조_자체소비
		석유정제_자체소비
		가스제조_자체소비
		석탄합성가스제조_자체소비
		기타전환_자체소비
		손실

개정 에너지밸런스의 최종소비 구성은 다른 부문에 비해 변화가 크지 않지만, 확장밸런스는 최종 소비를 최종에너지소비와 최종비에너지소비로 구분한 점에 차이가 있다. 구 밸런스는 석유를 에너지유, 액화석유가스(LPG, Liquefied Petroleum Gas), 비에너지유 3가지로 구분하여 납사, 용제, 아스팔트, 윤활유, 파라핀왁스, 기타석유를 모두 비에너지유로 취급하였다. 때문에 LPG와 같이 두 가지 용도로 소비되는 경우는 정확히 표현이 어려웠으나, 확장밸런스는 소비 흐름에서 용도를 구분하여 이 문제를 해결하였다. 또한 확장밸런스는 전환 공정에서 자가용 전기와 열 생산을 다루기 때문에, 최종 소비에는 전기와 동력을 제외한 실제 열로 사용된 에너지의 소비량이 반영되었다.

이외에도 확장밸런스는 에너지 흐름 하단에 생산 형태 및 생산자 유형별 전기와 열 생산 부분을 추가하여 각 에너지 상품별 전기와 열 생산량을 밸런스에서 확인할 수 있도록 하였다.

<표 4> 개정 에너지밸런스의 에너지 흐름(최종 소비)

구 밸런스	간이밸런스	확장밸런스
최종에너지	최종 소비	최종 소비
산업 부문	산업	최종에너지소비
농림어업	농림업	산업
광업	어업	농림업
제조업	광업	어업
음식·담배	제조업	광업(석탄광업제외)
섬유·의복	식품및담배	제조업
목재·나무	섬유및담배	식품및담배
펄프·인쇄	목재및나무제품	섬유및가족
석유·화학	제지및인쇄	목재및나무제품
비금속	화학및석유화학	제지및인쇄
1차금속	메모: 석유화학원료	화학및석유화학
비철금속	비금속광물	비금속광물
조립금속	철강	철강
기타제조	비철금속	비철금속
기타에너지	기계류	기계류
건설업	수송장비	수송장비
수송부문	기타제조	기타제조
철도운수	기타에너지	건설업
육상운수	건설업	수송
수상운수	수송	철도
항공운수	철도	도로
가정부문	도로	국내해운
상업부문	국내해운	국내항공
공공부문	국내항공	가정
	가정	상업
	상업	공공
	공공	최종비에너지소비
		비에너지_산업및에너지
		비에너지_수송
		비에너지_가정
		비에너지_상업
		비에너지_공공
		메모: 석유화학원료

Ⅲ. 2006 IPCC 지침 적용에 따른 연료 연소 부문 국가 온실가스 인벤토리 주요 변화

1. 2006 IPCC 지침 적용에 따른 연료 연소 부문 변화 내용

국가 온실가스 인벤토리에서 연료 연소 부문은 2006 IPCC 지침이 제시한 부문별 접근법(sectoral approach)에 기초하여 화석연료와 바이오매스의 연소에서 직접 배출되는 CO₂, CH₄, N₂O를 산정한다. 단, 바이오매스 연소로 배출되는 CO₂는 배출량을 산정하지만, 부문별 배출량에 합산하지는 않는다.

연료 연소 부문에서는 열을 발생시켜서 열 자체나 기계적 동력을 제공할 목적으로 설계된 설비에서 연료를 의도적으로 산화시킬 때 발생하는 온실가스 배출량을 산정한다. IPCC 지침에서 연료 연소 부문 온실가스 배출량 산정의 기본 원리는 연료소비량에 연료별·온실가스별 배출계수를 곱하여 배출량을 산정하는 것이다. 온실가스 배출량 산정식에 있어서 1996 IPCC 지침과 2006 IPCC 지침은 몇 가지 차이가 있다. 우선, CO₂ 배출량 산정 시, 1996 IPCC 지침에서는 연료별로 1보다 작은 산화율³⁾을 적용하였지만, 2006 IPCC 지침에서는 연료 내 탄소의 완전 산화를 가정하여 모든 연료에 1의 산화율을 적용한다. 그리고 일부 하위 부문의 Non-CO₂ 배출계수가 변경되었다.

한편, 1996 IPCC 지침에 기반한 국가 온실가스 인벤토리 산정에서 개별 온실가스의 배출량을 CO₂ 등가량(CO₂eq)으로 환산할 때는 IPCC 제2차 평가보고서의 지구온난화지수(GWP, Global Warming Potential)를 사용하였다. 하지만 파리협정 투명성체계의 결정에 따라 2006 IPCC 지침을 적용한 국가 온실가스 인벤토리에서는 IPCC 제5차 평가보고서의 GWP를 적용한다. 그 결과, CH₄의 GWP는 21에서 28로 증가한 반면, N₂O의 GWP는 310에서 265로 감소하였다. 하지만 연료 연소 부문 온실가스 배출량에서 CO₂ 배출량이 약 98% 이상을 차지하기 때문에 GWP 변화로 인한 영향은 크지 않을 것으로 판단된다. 수송과 어업을 제외한 연료 연소 부문의 2021년 배출량의 경우, 제2차 평가보고서의 GWP를 적용하였을 때에 대비하여 총 온실가스 배출량은 0.02% 정도 줄어들 뿐이었다.

2. 에너지밸런스 개정으로 인한 주요 변화

앞서 설명한 바와 같이 에너지밸런스가 개정되며 에너지 상품과 에너지 흐름이 보다 세분화되었다. 그 결과, 2006 IPCC 지침을 적용한 국가 온실가스 인벤토리의 배출원(sources) 구분이 1996 IPCC 지침 기반의 기존 인벤토리 대비 세분화되었다. 개정 에너지밸런스 적용으로 인한 주요 변화를 살펴보면 다음과 같다.

3) 석탄류 98.0%, 원유 및 석유제품 99.0%, 가스 99.5%

가. 화석연료의 비에너지 이용

화석연료는 에너지를 얻기 위해 연소될 수도 있지만, 납사, LPG, 유연탄 등은 산업 부문에서 원료로 이용되기도 하고 윤활유, 용제 등의 석유제품은 연료가 아닌 제품 자체로써 이용된다. 1996 IPCC 지침에서는 화석연료가 원료 또는 제품으로 이용될 때의 배출량은 탄소몰입률을 적용하여 제품 등에 몰입되어 대기 중으로 배출되지 않은 탄소를 제외한 나머지를 연료연소 부문에서 산정하였다. 하지만 2006 IPCC 지침은 화석연료의 비에너지 소비에 따른 배출량을 산업공정 및 제품 이용(Industrial Processes and Product Use) 분야에서 산정 및 보고하도록 하였다.

개정 에너지밸런스는 에너지 상품의 최종소비를 최종에너지소비와 최종비에너지소비로 구분하여 제시하고 있다. 이에 2006 IPCC 지침을 적용한 국가 온실가스 인벤토리에서는 개정 에너지밸런스의 부문별 최종에너지소비만을 활동자료로 하여 배출량을 산정한다. 이로 인해 가장 큰 영향을 받는 부문은 제조업 및 건설업 중 화학 및 석유화학 업종일 것이다. 기존 인벤토리에서는 납사와 원료로 이용되는 LPG에 탄소몰입률을 적용하여 연료연소 부문에서 배출량을 산정하였으나, 새로운 인벤토리 체계에서는 이러한 원료 이용에 따른 배출량은 전량 산업공정 및 제품 이용(IPPU, Industrial Processes and Product Use) 분야에서 산정한다.

나. 철강업

개정 에너지밸런스에서는 에너지 전환 공정이 상세화되며 철강 생산 공정 중 코크스로와 고로 공정이 추가되었고, 이러한 공정에서 발생하는 부생가스(코크스로 가스, 고로가스, 기탄석탄가스)의 흐름 또한 추가되었다. 2006 IPCC 지침은 코크스로 공정을 화석연료의 에너지 이용으로 간주하고 에너지 산업에서 배출량을 산정 및 보고하도록 하였다(IPCC, 2006, Vol.3 Ch.4). 반면 고로 공정에서의 배출량은 IPPU 분야에서 산정 및 보고한다. 제조업 및 건설업 중 철강업에서는 그 외 연료연소에 따른 배출량을 산정 및 보고한다.

기존 인벤토리에서는 에너지밸런스 상에서 철강 생산 공정이 세분화되지 않았기 때문에 코크스로, 고로 등의 공정에서 배출되는 온실가스를 구분하여 산정하지 못하였다. 대신에, 철강업에 투입된 원료탄에 탄소몰입률을 적용하여 모든 공정 및 연료연소 배출량을 일괄 산정하였다. 결국, 기존 인벤토리의 철강업 배출량은 2006 IPCC 지침에 따른 새로운 국가 온실가스 인벤토리에서는 에너지 산업에서 보고되는 코크스로 배출량, 제조업 및 건설업 중 철강업 연료연소 배출량, IPPU의 고로공정 배출량의 합계에 상응한다.

개정 에너지밸런스에서 철강 공정과 관련된 석탄 전환 흐름이 추가되며, 코크스로가스, 고로가스, 기타석탄가스 등의 석탄가스 흐름이 추가되었다. 기존 인벤토리에서는 석탄가스를 사용한 발전사업자들의 배출량을 에너지 산업에서 산정하지 못하였으나, 새로운 인벤토리 체계에서는 석탄가스를 활용한 발전 사업자들의 배출량이 에너지 산업에서 산정된다.

다. 석유정제

앞서 설명한 바와 같이 기존 에너지밸런스에서는 석유정제 과정을 전환 공정에서 별도로 표현하지 않았다. 이에 기존 국가 온실가스 인벤토리에서는 석유정제의 활동자료⁴⁾를 에너지밸런스로부터 확보하지 못하였고, 석유류 소비량만을 석유류 수급 통계를 통해 확보하여 배출량 산정에 활용하였다. 하지만 개정 에너지밸런스

에서는 석유정제 과정을 전환 공정에 추가하며 에너지 산업 자체 소비에도 석유정제 과정에서의 에너지 상품별 소비량을 추가하였다. 그 결과, 새로운 국가 온실가스 인벤토리에서는 석유정제의 배출량을 보다 더 정확하게 산정할 수 있게 되었다.

라. 재생에너지

기존 에너지밸런스는 다양한 에너지 상품으로 구성된 신재생 및 기타에너지를 세분화하지 않고 단일 상품으로 표현하였다. 또한, 소비량을 부문별로 세분화하지 않고, 에너지 전환, 산업, 가정, 상업, 공공부문의 소비량으로 제시하고 있다. 이에 기존 인벤토리 체계에서는 「신·재생에너지 보급통계」를 기반으로 태양광, 태양열, 풍력 등 온실가스 무배출 재생에너지를 차감하고, 잔여량을 고체 바이오매스로 가정하여 배출량을 산정하였다. 하지만 개정 에너지밸런스는 신재생 및 기타에너지를 상품별로 세분화하였을 뿐만 아니라 업종별로 소비량을 구분하여 제시하고 있다. 이에 업종별로 보다 더 정확한 배출량 산정이 가능해졌다.

IV. 에너지밸런스 개정과 2006 IPCC 지침 적용의 의의

에너지밸런스 개정이 가지는 가장 큰 의미는 우리나라의 에너지 산업을 보다 더 현실적으로 반영했다는 것이다. 지난 40여 년간 에너지 산업은 국내외 정세 변화, 신기술 개발 등으로 빠르고 복잡하게 발전했으나, 구 에너지밸런스는 그 형태를 유지하면서 이런 변화를 제대로 반영하지 못해 다양한 문제점을 지니고 있었다. 그동안 여러 차례 개편을 위한 시도가 있었으나, 여러 가지 이유로 인해 모두 방안 제시 정도에만 머물고 실제로 에너지밸런스 작성에는 반영되지 못했다. 개정 에너지밸런스 구축은 그간 있었던 개편 시도들이 축적되어 완성된 결과라 할 수 있다.

개정 에너지밸런스는 국제 기준을 상당 부분 준용하여 우리나라 현황에 맞게 형태와 작성 방법을 개편하였다. 따라서 세계에서 10위 안에 드는 에너지 소비국이자, 석유정제, 원자력 발전 등의 분야에서 상당한 기술력을 보유한 우리나라의 위상을 에너지 통계 분야에서도 높이는 데 기여하였다.

또한 에너지 상품과 에너지 수급 흐름을 세분화하고, 현실을 반영할 수 있도록 항목과 작성 방법을 개편하여 에너지 정책을 수립하고 평가하는데 더욱 정확한 자료를 제공할 수 있으며, 에너지 수급 동향 분석과 에너지 수급 전망의 정확도 및 신뢰성 제고에 긍정적인 영향을 줄 것이다.

그리고 에너지밸런스의 개정으로 인해 2006 IPCC 지침을 적용할 수 있는 기반이 마련되었고, 그에 따라 국제 사회가 요구하는 수준의 국가 온실가스 인벤토리를 산정 및 보고할 수 있게 되었다. 특히, 에너지밸런스

의 개편은 온실가스 배출 통계의 정확성 향상에도 기여하였다. 전환 공정 및 에너지 흐름의 세분화, 신규 에너지 상품의 추가 및 기존 에너지 상품의 세분화를 통해 배출원별로 보다 더 정확한 배출량 산정이 가능해졌다.

참고문헌

관계기관 합동, 제2차 국가 온실가스 통계 총괄관리계획(2020~2024), 2020.

손인성·김동구, 파리협정 이행규칙과 국내 감축 정책 이행에의 시사점, 에너지경제연구원 수시연구보고서 2019-06, 2020.

에너지경제연구원. 개정에너지밸런스 설명자료.

IPCC, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006.

UNFCCC, Report of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement on the third part of its first session, held in Katowice from 2 to 15 December 2018. Addendum 2. Part two: Action taken by the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement, 2018.

기후변화와 탄소중립

제28호 기고자 모집



온실가스 관리·감축 분야의 글로벌 싱크탱크
온실가스종합정보센터가 <기후변화와 탄소중립> 기고자를 모집합니다.
<기후변화와 탄소중립>은 온실가스 저감 및 기후변화 대응 정책 관련
최신 동향을 공유하고자 하는 모든 분께 열려 있습니다.

주제 온실가스 저감 및 기후변화 대응 정책 관련 국내·외 연구결과 및 최신동향

분량 A4 8장 이내

문의 온실가스종합정보센터 기획총괄팀 윤소영 전문연구원(043-714-7512)



환경부
온실가스종합정보센터





오존층 파괴물질(ODS) 대체물질 사용 분야 인벤토리 개정 관련 주요 이슈

김대욱

온실가스종합정보센터 연구사

I. 서론

파리협정의 강화된 온실가스 감축 이행 체계에 따라 유엔기후변화협약(UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change)에 보고하는 국가 온실가스 통계 산정 시 2006 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change) 가이드라인을 적용하도록 함에 따라 우리나라는 기존 1996 IPCC 가이드라인에 따라 작성해 왔던 통계 체계를 신규 지침으로 전환할 예정이다. 방법론 변경에 따라 전 분야에서 크고 작은 배출량 변화가 예상되나 특히 산업공정 분야의 “할로카본 및 육불화황 소비(2.F)” 분야는 “전자산업(2.E)”, “오존층 파괴물질(ODS, Ozone Depleting Substances) 대체물질 사용¹⁾” 분야(2.F)”, “기타제품 제조 및 사용(2.G)”로 세분화되면서 큰 폭으로 바뀔 예정이다. 이 중에서 ODS 대체물질 사용 분야를 중심으로 산정 방법론 등 변화된 점 및 관련 논의 동향을 알아보고 온실가스 감축 정책 관점에서 시사점을 논하고자 한다.

II. 본론

1. ODS 대체물질 사용 분야 관련 배경

수소불화탄소(HFCs)와 일부 과불화탄소(PFCs)는 몬트리올 의정서에서 단계적으로 사용을 제한하기로 한 염화불화탄소(CFC)·수소염화불화탄소(HCFC)와 같은 ODS를 대체하는 역할을 한다. CFC는 2010년 이후 사용이 전폐되었고 HCFC는 2013년부터 감축을 시작하여 2030년에 전폐 예정이다. ODS는 냉동·냉방 장치의 냉매, 발포제, 소화기, 에어로졸, 용매 등 현대 사회의 다양한 분야에서 수요가 증가하고 있으므로 규제에 대응하기 위한 HFCs와 같은 ODS 대체물질 생산 및 소비가 지속적으로 증가하고 있다. 그러나 ODS 대체물질은 대기 중에서 온실효과를 일으킬 뿐만 아니라 CO₂와 비교하여 지구온난화지수가 매우 크다는 특징을 가진다. <표 1>의 HCFC·HFC 지구온난화지수 수치에서 보듯이 CO₂에 비해 수십 배에서 수백 배의 온실효과를 가지고 있으나, HCFC는 몬트리올 의정서에 포함된 규제 물질이므로 IPCC의 보고 대상 온실가스에서 제외된다.²⁾

결과적으로 오존층 파괴물질 규제에 대응하여 대체 냉매로 각광받은 HFC 사용이 각국의 온실가스 배출량 증가로 이어지게 되자, 2015년 파리 기후변화협약에서 중요하게 다뤄지게 되었고, 2019년에 몬트리올 협약의 규제 범위를 HFC까지 확장하도록 하는 키갈리 개정서가 발효되었다. 따라서 몬트리올 협약 비준 국가인 우리나라도 오존층보호법 개정을 통해 2024년부터 HFC 감축을 시작하여 2045년까지 최근 3개년 소비량 평균 대비 80%를 감축해야만 하는 상황이다.

1) Product Uses as Substitutes for Ozone Depleting Substances

2) 『2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories』, Vol 1, 8.2.2

<표 1> IPCC 고시 기준 연도별 HCFC-HFC 온실가스 GWP 비교

물질명	IPCC AR1 (1990)	IPCC AR2 (1995) 1996 지침	IPCC AR3 (2001)	IPCC AR4 (2007)	IPCC AR5 (2014) 2006 지침	IPCC AR6 (2021)	키갈리 개정서 (2016) 모든 국가
HCFC-22	1,600	1,500	1,700	1,810	1,760	1,960	1,810
HCFC-123	90	90	120	77	79	90.4	77
HCFC-124	440	470	620	609	527	597	609
HCFC-141b	580	600	700	725	782	860	725
HCFC-142b	1,800	1,800	2,400	2,310	1,980	2,300	2,310
HCFC-225ca	-	-	180	122	127	137	122
HFC-23	-	11,700	12,000	14,800	12,400	14,600	14,800
HFC-32	-	650	550	675	677	771	675
HFC-134a	1,200	1,300	1,300	1,430	1,300	1,530	1,430
HFC-152a	150	140	120	124	138	164	124
R-404A	-	3,260	3,784	3,922	3,943	4,728	3,922
R-407C	-	1,526	1,653	1,774	1,624	1,907.9	1,774
R-410A	-	1,725	1,975	2,088	1,924	2,256	2,088
R-507A	-	3,300	3,850	3,985	3,985	4,775	3,985
HFC-245fa	-	-	950	1,030	858	962	1,030
HFC-365mfc	-	-	890	794	804	914	794
HFC-227ea	-	2,900	3,500	3,220	3,350	3,600	3,220
HFC-125	3,400	2,800	3,400	3,500	3,170	3,740	3,500
HFC-236fa	-	6,300	9,400	9,810	8,060	8,690	9,810
HFC-41	-	150	97	92	116	135	92
HFO-1234yf	-	-	-	-	<1	0.501	-
HFO-1234ze	-	-	-	-	<1	1.37	-
HFO-1336mzz	-	-	-	-	2	2.08	-
HFO-1233zd	-	-	-	-	1	3.88	-

2. 지침 간 배출량 카테고리 비교

가. 1996 IPCC 지침

우리나라는 그간 교토의정서상 개도국(Non-Annex I) 지위를 부여받아 1996 IPCC 지침에 따라 국가 온실가스 인벤토리를 작성해 왔다. <그림 2>의 인벤토리 양식을 살펴보면 할로카본(HFCs, PFCs) 및 SF₆ 생산에 따른 부산물(by-product)·탈루 배출량과 할로카본(HFCs, PFCs) 및 SF₆ 소비 용도별로 냉장 및 냉방·발포제·소화기·에어로졸·용매·기타용도 배출량으로 구분하여 보고하게 되어있다. 여기에 우리나라 반도체·디스플레이·전기전자 업종의 기술 수준과 산업 규모를 고려하여 선제적으로 2006 IPCC 지침을 일부 적용하여 공정 가스로 사용되는 HFC, PFC, SF₆ 배출량 및 전기장치 제조 및 사용 과정의 SF₆ 배출량을 구분하기 위해 “반도체 제조 및 액정표시장치 제조(2.F.7)”와 “증전기기(2.F.8)” 카테고리를 추가하여 국가배출량을 산정하고 있다.

<그림 1> 1996 IPCC 지침 F-gas 배출량 보고 양식

TABLE 2 SECTORAL REPORT FOR INDUSTRIAL PROCESSES
(Sheet 2 of 2)

SECTORAL REPORT FOR NATIONAL GREENHOUSE GAS INVENTORIES (Gg)													
GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK CATEGORIES	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	NM VOC	SO ₂	HFCs		PFCs		SF ₆	
								P	A	P	A	P	A
D Other Production													
1 Pulp and Paper													
2 Food and Drink													
E Production of Halocarbons and Sulphur Hexafluoride													
1 By-product Emissions													
2 Fugitive Emissions													
3 Other (please specify)													
F Consumption of Halocarbons and Sulphur Hexafluoride													
1 Refrigeration and Air Conditioning Equipment													
2 Foam Blowing													
3 Fire Extinguishers													
4 Aerosols													
5 Solvents													
6 Other (please specify)													
G Other (please specify)													

P = Potential emissions based on Tier 1 Approach. A= Actual emissions based on Tier 2 Approach.

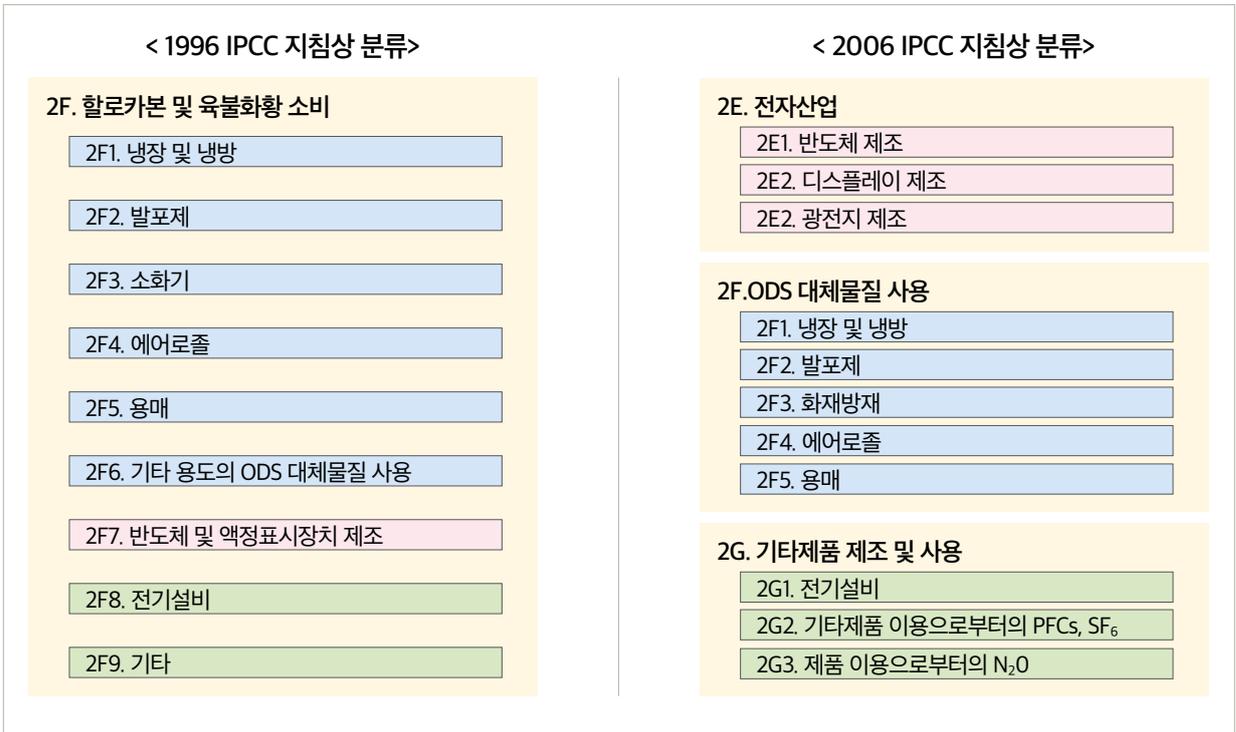
나. 2006 IPCC 지침

교토의정서상의 선진국(Annex-I)은 2006 IPCC 산정 지침에 따라 국가 인벤토리를 국제연합(UN, United Nations)에 제출해 왔으며, 파리협정 이후 강화된 투명성체계(MPGs)에 따라 모든 당사국이 해당 지침 기반으로 산정된 국가 인벤토리를 2024년까지 제출해야 한다. 1996 산정 지침과 비교할 때 분류체계상의 변화는 전자제품 생산공정에서 사용되는 불소계 온실가스 보고를 위한“전자산업(2.E)”과 전기설비(중전기) 및 기타 제품의 생산 및 사용으로 인한 SF₆, PFCs 및 아산화질소(N₂O) 배출량을 산정하기 위한“기타 제품 제조 및 사용(2.G)”이 추가되었다는 점이다. 불소계 온실가스 생산과 관련된 배출량은 화학산업의 불소화합물 생산(2.B.9)으로 이동하였으며, ODS 대체물질의 사용 분야(2.F)는 기존 1996 지침과 유사한 분류체계를 유지하고 있다.

<그림 3>의 지침 간 비교표에서 볼 수 있듯이 우리나라는 기존에 전자산업 및 중전기 배출량은 2006 산정 지침에 따라 보고하고 있었으므로, 일부 신규 산정 배출원³⁾을 제외하면 신규 지침의 배출원 분류 방식 변경에 따른 불소계 온실가스 인벤토리의 영향은 크지 않다고 할 수 있다.

3) 전자산업의 광전지 제조, 기타 제품 제조 및 사용의 의료용 N₂O 사용

<그림 2> 배출량 카테고리 비교



오존층 파괴물질(ODS) 대체물질 사용 분야 인벤토리 개정 관련 주요 이슈 - 김대욱

3. 산정 방법론

가. 1996 IPCC 지침(잠재 배출량)

HFCs와 같은 ODS 대체물질은 일반적으로 소비 시점과 배출 시점의 시차가 존재한다. 예를 들어 냉동·냉방 장치에 냉매로 주입된 HFCs는 배관 등을 통해 일정량이 사용기간 동안 점진적으로 누출되다가 폐기 단계에서 잔여 냉매가 한꺼번에 대기 중으로 방출될 수 있다. ODS 대체물질을 사용하는 다양한 분야에서 발생하는 주입·사용·폐기 단계별로 대기 중으로 누출되는 양을 파악하기 위해서는 많은 시간과 노력이 필요하다. 1996 지침에서는 이러한 제약 조건으로 인해 배출량 산정이 어려운 점을 감안하여 대안으로 잠재 배출량 방식을 제시하고 있다. 잠재 배출량은 시차를 고려하지 않고 해당 연도에 생산되거나 수입되는 ODS 대체물질의 양에서 폐기되거나 수출되는 양을 제외하고 전부 배출된다고 가정하는 방법이다. HFCs를 별도의 분해 처리시설에서 고온의 열로 파괴하지 않는 이상 50년 이상의 장기적으로 누적된 잠재 배출량과 시차를 고려한 누적된 실제 배출량의 양은 같아질 것이다.

나. 2006 IPCC 지침(실제 배출량)

잠재 배출량은 해당 연도의 생산 및 수출입 관련 자료를 이용하여 간편하게 ODS 대체물질 배출량을 산정할 수 있다는 장점이 있지만, 사용 제품의 내구연한(10~15년)을 고려할 때 단기적으로 실제 배출량과의 괴리가 발생한다는 단점이 존재하므로 국가 인벤토리 산정의 우수실행(Good Practice)으로 볼 수 없다. 따라서 2006 지침에서는 잠재 배출량은 참고치로만 제시하고 실제 배출량으로 산정할 것을 명시하고 있으며, 파리협정 투명

성체계 결정문에서도 불소계 온실가스에 대해 실제 배출량으로 산정할 것을 재차 강조하고 있다.⁴⁾

우리나라는 2006 IPCC 지침 산정등급(Tier) 1 방법론에 따라 가스별 당해연도 순소비량과 장치에 보유된 (banked) 가스량을 고려하여 실제 배출량을 산정한다. 대표적으로 가장 큰 비중을 차지하는 냉장 및 냉방 부분의 산정식은 다음과 같다.

<표 2> 냉장 및 냉방 부문 Tier 1 배출량 산정식

$$\text{연간 배출량}(t) = \text{당해연도 순소비량} \times EF_{FY} + \text{총 축적된 물질량} \times EF_B$$

순소비량 = 생산량 + 수입량 - 수출량 - 폐기량

EF_{FY} = 당해연도 합성배출계수

EF_B = 축적된(banked) 양의 합성배출계수

냉장 및 냉방 분야의 기본 배출계수는 기기 구입·사용·폐기 단계를 고려한 합성 배출계수(Composite Emission Factor)로 기본값은 15%를 적용하며 평균 기기 수명은 15년을 적용하고 있다. ODS 대체물질의 분야별 기본계수 및 평균 기기 수명은 아래 <표 3>과 같이 분야별로 다르게 적용하고 있으며, 화재 방재 분야와 같이 소화설비 폐기 시 회수량 데이터를 수집 가능한 경우 이를 반영할 수 있도록 하고 있다.

<표 3> ODS 대체물질 분야별 Tier 1 기본계수 및 평균 기기 수명

분야	배출계수 (당해연도)	배출계수 (축적)	평균 기기 수명	비고
냉장 및 냉방	15%	15%	15년	
수지 발포제	10%	4.5%	20년	
화재 방재	2%		20년	대량시스템 기준
에어로졸	50%	50%	2년	
용매	50%	50%	2년	

4. 활동자료

가. 1996 IPCC 지침(수출입통계)

우리나라는 일부 가스를 제외하고 대부분의 ODS 대체물질을 수입에 의존하고 있다. 이와 같은 특성상 국내에서 확보할 수 있는 불소계 가스 관련 기초자료로 수출입통계가 주로 활용되었다. 수출입통계는 국내 유통

4) 투명성체계 이행지침 18/CMA.1, Annex 49, 『당사국은 HFCs, PFCs, SF₆ 및 NF₃를 해당 가스의 실제 배출량으로 보고하여야 하며, 화학물질 및 카테고리 별로 물량과 CO₂ 환산 톤으로 세분화된 자료를 제공하여야 한다.』

되는 ODS 대체물질을 공급망 차원에서 관리가 가능하나 수출입코드(HSK code)로 식별 가능한 가스가 2종에 불과하여(HFC-152a, HFC-134a) 그동안 온실가스 인벤토리가 과소 산정된다는 문제점이 있었다. 실제 배출량과의 괴리를 보완하기 위해 반도체·디스플레이 업종에서 사용되는 불소계 온실가스는 배출권거래제 명세서 데이터를 기초자료로 2006 IPCC 지침을 선반영하여 실제 배출량 기준으로 인벤토리에 추가하였으나, 냉매 등 ODS 대체물질 분야는 여전히 일부 가스만을 잠재배출량으로 산정하고 있어 이를 보완하기 위한 기초통계 조사가 필요한 상황이었다.

나. 2006 IPCC 지침(설문조사, 오존층보호법상 신고자료)

수출입통계에 기반한 1996 IPCC 지침 기반의 통계를 보완하기 위해 2006 IPCC 지침 적용을 위한 시범산정 등을 통해 관장기관과 온실가스종합정보센터에서는 ODS 대체물질 분야 기초자료 산정을 위한 설문조사 및 연구용역을 수행하였다. 실제 HFCs를 수입하는 업체에 연도별 수입량 및 판매량 등을 조사하여 수출입통계에서 식별하지 못했던 ODS 대체물질 가스를 신규로 산정하여 온실가스 인벤토리를 구축하였다. 또한 오존층 보호법 시행령 개정으로 키갈리 개정서 이행을 위한 HFCs 수입 쿼터를 정하는 기준수량 조사 작업이 산업통상자원부에서 이루어져, 산정기관의 협조를 얻어 더 정확한 데이터를 확보할 수 있게 되었다. 수출입통계도 2022년부터 HSK 코드 개정이 이루어져 세분화된 자료를 확보할 수 있을 것으로 기대했으나, 가스 종류 식별을 위해서는 10자리 코드가 필요하나 실제 단위 코드는 6자리로만 관리하고 있어 여전히 물질 분류가 불가능한 것으로 나타났다.

Ⅲ. 주요 이슈

지침 개정 시점에 맞춰 기초 활동자료 개선을 통해 그동안 한정된 가스에 대하여 잠재배출량으로 산정해 왔던 ODS 대체물질을 누락된 가스 없이 실제배출량으로 산정하였다는 것은 국가 인벤토리 품질 제고 측면에서 의의가 있다. 추가로 통계 품질 향상을 위하여 통계 산정기관과 온실가스종합정보센터가 협력하여 장기적으로 보완해야 할 점에 대해 몇 가지 서술하고자 한다.

1. 활동자료 정합성

첫 번째로는 배출량 산정 기초자료의 정합성·정확성 검토가 이루어져야 한다. 오존층보호법 시행령에 근거한 HFCs 제조·수입·판매업체 실적자료는 증빙서류 검증까지 병행하여 수출입통계를 제외하고 가장 신뢰성 있는 자료라고 할 수 있으나, 2020년 이후의 실적만 조사하고 있어 2020년 이전의 자료는 기존의 산정기관에서 직접 조사한 자료에 의존할 수밖에 없다. 또한 한국환경공단에서 조사한 대기환경보전법상 냉매용 HFCs 물질별 판매량 통계도 있으나, 냉매 외 발포·소화약제 등은 제외되어 있다. 이처럼 국내에 산재한 기초통계를 종합

적으로 비교·분석하여 온실가스 배출량 산정에 활용하는 검토 작업이 수행되어야 한다. 덧붙여, 상기 열거한 통계들은 제조·수입업체가 작성한 공급통계로, 실제 ODS 대체물질이 주입되는 기기들을 사용하고 관리하는 주체가 작성하는 수요통계도 병행 구축하여 온실가스 산정에 활용된다면 통계 정확도를 향상할 수 있다. 특히 후술할 분야별 tier 2 산정 방법론 구축을 위해서는 수요측 자료(DB, Data Base) 구축이 필수적이다.

2. 산정등급(tier) 2 산정체계 개발

IPCC 인벤토리 작성 가이드라인에서는 국가 인벤토리에서 비중이 높은 배출원을 주요 배출원(Key Category)이라고 구분하여 이를 분석하는 방법론 등을 제시하고 있다. 일반적으로 주요 배출원은 ‘국가 총배출량에서 차지하는 비중이 얼마나 되는가?(수준평가)’와 ‘기준년도(1990년) 대비 최신연도의 증감 추이가 총배출량과 얼마나 다른가?(추세평가)’ 등의 기준을 통해 결정되며, 주요 배출원으로 평가된 배출·흡수원은 국가 온실가스 배출량에 미치는 영향이 크므로 해당 분야의 산정 방법론을 국가 고유 기초자료 및 계수를 적용한 tier 2 이상 등급으로 산정할 것을 권고하고 있다. 그간 국가 인벤토리에서 산정되지 않은 HFCs 배출량 비중 및 몬트리올 의정서에 따라 HCFC를 대체하여 빠르게 수요가 증가해 왔다는 점을 고려할 때 ODS 대체물질 분야는 향후 주요 배출원이 될 가능성이 높으므로 지침에 따라 tier 2 방법론 적용을 준비해야 한다. 다만 투명성체계 이행지침⁵⁾에서는 ‘각 당사국이 자원의 부족으로 인해 주요 배출원에 대해 상위 산정등급의 방법론을 사용하지 못할 수도 있고, 이 경우 tier 1 접근법을 사용할 수 있으며(may) 방법론 선택이 IPCC 지침의 순서도(decision tree)와 맞지 않는 이유에 대해 명확하게 문서화해야 한다(shall)’라고 서술되어 있어 조건부의 유연성을 부여하고 있는 것으로 보인다.

국가 온실가스 인벤토리를 제출하고 있는 주요 국가는 ODS 대체물질 분야를 tier 2 방식으로 산정하여 보고하고 있다. 이는 온실가스 실제 배출량 산정 시 냉장·냉방 분야 HFCs 배출 비중이 높고, 용도별 온실가스 누출 및 회수·폐기 특성 등의 차이가 커 자국의 산업 특성이 반영된 배출량 산정을 위해 tier 2 방법론을 적용하기 때문인 것으로 파악된다. 따라서 장기적으로는 우리나라도 tier 2 산정체계를 구축해야 하며 이를 위해서는 세분화된 활동자료 마련 및 국가 배출계수 개발이 필요하다. 또한 ODS 대체물질 회수 및 파괴 실적을 반영하여 배출량 과다 산정을 방지하고 온실가스 감축 실적이 인벤토리에 반영될 수 있도록 해야 한다. 온실가스종합정보센터는 한국환경공단에서 관리하는 폐냉매 회수 및 열분해를 통한 배출권거래제 상쇄제도 외부감축사업에 따른 감축량을 통계에 반영하기 위해 관련 지침을 보완하고 관계부처 협의를 거쳐 적용할 계획이다.

5) 18/CMA.1, Annex 23

IV. 결론 및 시사점

HFCs 소비는 비록 2024년부터 키갈리 개정서 이행을 통해 점진적으로 감축할 예정이나, 그동안 냉장·냉방 수요의 증가 및 HCFC 전폐로 인한 대체 수요 증가로 소비량이 꾸준히 증가해 왔다. 한번 주입되면 기기 내에 축적되어 지속적으로 대기 중으로 방출된다는 특징으로 인해 ODS 대체물질 사용 분야의 배출량도 증가할 것으로 예상되는바, 우리나라 온실가스 감축관리 정책에도 적지 않은 영향을 미칠 것으로 보인다. 2006 IPCC 지침 개정에 따른 실제 배출량 산정 및 기초 통계자료 변경으로 인한 산정 범위 확대에 의해 불소계 가스 통계 관리 체계에 전반적인 변화가 예상되고, 나아가 tier 2 산정을 위한 준비를 차질 없이 시행하기 위해서는 관계 부처 및 관련 업계의 통계 품질 제고를 위한 지속적인 관심과 노력이 요구된다. 주요 선진국의 사례를 통해 국내에서 수집 가능한 통계 DB를 구축하고 국가 고유 배출계수를 개발할 수 있는 여건을 조성하여 합리적인 산정 방법을 마련하는 것이 필요하다.

참고문헌

온실가스종합정보센터(2023). 2022 국가 온실가스 인벤토리 보고서.

—————(2021). 불소계 온실가스 통계 개선을 위한 기초통계 분석 연구.

한국기계전자시험연구원(2024). 오존층파괴물질(ODS) 대체물질 사용 부문 배출량 산정 체계 개선방안 연구 착수 보고자료.

IPCC(2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

UNFCCC(2019). Modalities, procedures and guidelines for the transparency framework for action and support referred to in Article 13 of the Paris Agreement. 결정문 18/CMA.1.

